



DESAFIOS DE LA CAFICULTURA EN CENTROAMERICA



**Editores: Benoît Bertrand
Bruno Rapidel**

Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD)

El CIRAD, un organismo francés especializado en investigación agronómica aplicada en la zona intertropical, tiene como objetivo principal el de contribuir al desarrollo rural de los países tropicales y subtropicales, mediante la generación de informaciones técnicas y científicas y la realización de investigaciones, experimentos y acciones de capacitación en Francia y en el exterior. Sus actividades se extienden a las ciencias agronómicas, veterinarias, forestales y agroalimentarias.

Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (IRD)

El IRD, anteriormente denominado el ORSTOM, es una institución francesa de carácter científico y tecnológico, que depende de los ministerios responsables de la investigación y de la cooperación. El IRD participa en la realización de programas de investigación en la zona intertropical, en colaboración con institutos científicos de Francia, otros países europeos y naciones en desarrollo.

Centro Cultural y de Cooperación Técnica para América Central (CCCR) del Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia

Francia, miembro de la Unión Europea (UE), ha brindado apoyo a todas las iniciativas en favor de la integración centroamericana (Diálogos de San José). En particular, desde hace más de veinte años, ha ejecutado en Centroamérica, a través del CCCR, programas regionales de educación, divulgación de información, desarrollo rural y cooperación cultural, científica y técnica, mediante los cuales ha apoyado a ministerios de agricultura, organizaciones de productores y otras instituciones.



DESAFIOS DE LA CAFICULTURA EN CENTROAMERICA

**Editores: Benoît Bertrand
Bruno Rapidel**

© Centro de Cooperación Internacional de Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD) de Francia.
Mayo, 1999.

Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización escrita del CIRAD y el IICA.

Las ideas y los planteamientos contenidos en los artículos firmados son propios de los autores y no representan necesariamente el criterio del CIRAD y el IICA.

Benoît Bertrand y Bruno Rapidel fueron responsables de la edición y la corrección estilística y bibliográfica de este documento. La Editorial Agroamérica, por medio de la Unidad de Edición y Traducción, fue responsable de la coordinación del proceso de producción y de la revisión de galeras y artes finales, y por medio de la Unidad de Diseño, Diagramado, Impresión y Encuadernación, del diseño de portada, diagramación, montaje, confección de artes, fotomecánica, impresión y encuadernación.

Fotografía de portada: Reinhold Muschler, GTZ.

Desafíos de la caficultura en Centroamérica / ed. por Benoît Bertrand y Bruno Rapidel. — San José, C.R. : IICA. PROMECAFE : CIRAD : IRD : CCCR.FRANCIA, 1999.
x, 496 p. ; 23 cm.

ISBN 92-9039-391-2

1. Café-América Central. 2. Sostenibilidad. I. Bertrand, B. ed. II. Rapidel, B., ed. III. IICA.PROMECAFE. IV. CIRAD. V. IRD. VI. CCCR.FRANCIA. VII. Título.

AGRIS
F01

DEWEY
633.73

ISBN 92-9039-391 2

Mayo, 1999
San José, Costa Rica



INDICE

Presentación. Veinte Años Después	v
<i>Jean-Louis Sabatié</i>	
Agradecimientos	vii
Introducción	ix
1 Trayectoria y Viabilidad de las Caficulturas Centroamericanas . . . 1	
<i>Mario Samper K.</i>	
2 Aspectos de la Sostenibilidad de los Sistemas de Cultivo de Café en América Central	69
<i>Carlos E. Fernández y Reinhold G. Muschler</i>	
3 Los Suelos Cafetaleros en América Central y su Fertilización . . . 97	
<i>Elemer Bornemisza, Jean Collinet y Alvaro Segura</i>	
4 Hacia un Manejo Sostenible de la Materia Orgánica y de la Fertilidad Biológica de los Suelos Cafetaleros	139
<i>Philippe Vaast y Didier Snoeck</i>	
5 El Beneficiado Ecológico del Café	171
<i>Rolando Vásquez</i>	
6 La Roya Anaranjada del Cafeto: Mito y Realidad	193
<i>Jacques Avelino, Raoul Muller, Albertus Eskes, Rodney Santacreo y Francisco Holguín</i>	
7 El Ojo de Gallo del Cafeto (<i>Mycena citricolor</i>)	243
<i>Amy Wang y Jacques Avelino</i>	

Indice

- 8 La Anthracnosis de los Frutos: Un Grave Peligro para la Caficultura Centroamericana 261
Raoul A. Müller, Dominique Berry y Daniel Bieysse
- 9 La Broca de los Frutos del Cafeto: ¿La Lucha Biológica como Solución? 293
Bernard Dufour, Juan Francisco Barrera y Bernard Decazy
- 10 Los Nematodos Parásitos del Cafeto 327
Luc Villain, Francisco Anzueto, Adán Hernández y Jean Louis Sarah
- 11 Los Recursos Genéticos: Las Bases de una Solución Genética a los Problemas de la Caficultura Latinoamericana 369
François Anthony, Carlos Astorga y Julien Berthaud
- 12 El Mejoramiento Genético en América Central 407
Benoît Bertrand, Germán Aguilar, Rodney Santacreo y Francisco Anzueto
- 13 Aportes de la Biotecnología al Mejoramiento Genético del Café: El Ejemplo de la Multiplicación por Embriogénesis Somática de Híbridos F1 en América Central 457
Hervé Etienne, Dominique Barry-Etienne, Nelly Vásquez y Marc Berthouly

PRESENTACIÓN

VEINTE AÑOS DESPUÉS

América Central ha acogido a la Cooperación Francesa en el campo agronómico desde hace más de veinte años. Dicha cooperación se ha brindado a través de programas de educación en universidades y escuelas de ingenieros agrónomos, de proyectos de desarrollo rural y de divulgación agrícola, realizados conjuntamente con los ministerios de agricultura y las organizaciones de productores, así como de programas de investigación con instituciones especializadas. Con frecuencia, estas tres modalidades de cooperación han estado vinculadas con la investigación-educación-desarrollo.

La existencia en Centroamérica de contrapartes de alto nivel ha permitido a la Cooperación Francesa traspasar las fronteras naturales del istmo para dar a conocer en otros lugares los resultados obtenidos.

Son numerosos los proyectos y programas centroamericanos que se han convertido en ejemplos y han sido conocidos por especialistas de otros continentes. En este conjunto, que incluye el algodón, los granos básicos, las musáceas, los bosques y la ganadería, el café ocupa un lugar especial.

Después de 20 años, las investigaciones científicas y las actividades de investigación-desarrollo realizadas en el marco del Programa Cooperativo para la Protección y Modernización de la Caficultura en México, Centroamérica, Panamá y República Dominicana (PROMECAFE), conjuntamente con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), son desde todo punto de vista ejemplares.

Presentación

Por lo tanto, se consideró conveniente retomar los resultados obtenidos a partir de 1978 por el PROMECAFE, con el apoyo científico del Centro de Cooperación Internacional de Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD) y del Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (IRD*), y gracias al financiamiento del Gobierno Francés, que se suma a las contribuciones de los miembros del PROMECAFE y de otros donantes generosos.

El libro “Desafíos de la Caficultura en Centroamérica” tiene la doble ambición de servir como testigo de esta larga cooperación en beneficio de los productores de café de la región y como referencia para la divulgación práctica de los resultados obtenidos en estas investigaciones.

La Cooperación Francesa agradece a todos los participantes del Programa PROMECAFE por la confianza depositada en dicho Programa y manifiesta su gran satisfacción por los resultados obtenidos.

*Jean-Louis Sabatié,
Consejero Cultural, Científico y
de Cooperación para América Central,
Embajada de Francia en Costa Rica*

* Anteriormente ORSTOM.

AGRADECIMIENTOS

Este libro es el producto del trabajo de muchas personas. Agradecemos muy sinceramente a los autores de cada capítulo, que aceptaron agregar esta importante tarea a sus labores cotidianas, sin remuneración alguna.

También reconocemos las ayudas oportunas de:

Jean Laboucheix y Bertrand Sallee, del Centro de Cooperación Internacional de Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD) de Francia, y Guy Christophe, de la Cooperación Regional Francesa, quienes dieron su apoyo cuando este libro no era más que un proyecto.

Olger Borbón, del Instituto del Café (ICAFFE) de Costa Rica, por sus lecturas del documento.

Cecilia Vaglio, por la calidad de sus traducciones.

Jean-Louis Sabatié, Consejero Cultural y de Cooperación Regional Francesa, y André de Courville, del CIRAD, por su eficiente gestión de los recursos financieros y su apoyo moral.

La gerencia de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) de Guatemala, por su apoyo financiero y su confianza.

Benoît Bertrand y Bruno Rapidel

INTRODUCCIÓN

América Central es la tercera región cafetalera del mundo y el café es uno de sus principales productos de exportación; por lo tanto está estrechamente ligado al desarrollo socioeconómico del Istmo. Es, sin duda, el cultivo que más ha contribuido a formar el paisaje de las cordilleras volcánicas.

El auge del cultivo del café comercial en la región es relativamente reciente: data del siglo pasado. Sin embargo, el café centroamericano se cultiva en una gran diversidad de sistemas agrarios que se formaron por las diferentes condiciones históricas, demográficas y geográficas de las diversas zonas centroamericanas.

A partir de la década de 1950, por el desarrollo de las técnicas agrícolas, la selección de nuevas variedades y la demanda creciente del mercado, el cultivo del café se intensificó y se "artificializó" en diversos tipos de fincas. Este fenómeno permitió aumentar considerablemente los rendimientos, pero a la vez provocó cierto deterioro ambiental. Sus consecuencias son difíciles de medir definitivamente, pero es probable que este deterioro tenga una influencia durable sobre los equilibrios biológicos y económicos del sistema.

América Central tiene grandes áreas muy aptas para el cultivo de café. Sin embargo, existen otras zonas tropicales que gozan de condiciones favorables y que compiten con un café más barato (Asia) o de tan alta calidad como el café centroamericano (Colombia, Kenia). Las variaciones bruscas, cíclicas y crónicas de los precios internacionales reflejan, en parte, esta dura competencia.

Los grandes desafíos de la investigación cafetalera en el área están en gran medida determinados por el conjunto de esta historia agraria diversa y de la sostenibilidad del sistema de cultivo frente a la coyuntura internacional, la cual es imposible controlar.

¿Cómo podrá la investigación proponer soluciones:

- que se adapten a sistemas de cultivo muy diversos,
- que permitan aminorar los costos externos de la producción para limitar la fragilidad de los sistemas de producción, respetando los grandes equilibrios ecológicos,
- pero que a la vez permitan mantener los rendimientos económicos de las unidades de producción más eficientes?

Este libro intenta contribuir a este debate, presentando los grandes problemas ecológicos, agronómicos y biológicos que acechan a la caficultura centroamericana, o que la afectarán probablemente en un futuro cercano. Varios especialistas del cultivo han sido invitados a participar en la redacción de sus trece capítulos que son, en cierta medida, independientes.

El libro comienza por una reseña histórica que permite tanto entender la diversidad de situaciones de producción como interpretar los debates actuales en un contexto más amplio de una historia bi-secular. Luego, se estudian los principales avances y limitaciones de los sistemas de cultivo con una atención particular al manejo del suelo con el afán de proponer soluciones, o de identificar campos prioritarios de investigación. También se repasan los grandes desafíos del beneficiado del café que son principalmente ecológicos. Un gran espacio es dedicado al estudio de las principales enfermedades y plagas del café, cuyo desarrollo y agravamiento repercute en costos de control muy elevados. La lucha biológica o integrada puede (o podrá) ofrecer soluciones alentadoras. En fin, se presentan las posibilidades de creación de nuevas variedades de café a partir de los recursos genéticos introducidos de Africa, con las esperanzas que despiertan las nuevas biotecnologías.

Este libro ha sido escrito para que lo puedan utilizar los investigadores, estudiantes y caficultores de América Central. Para cada tema tratado, se intentó recordar los conceptos esenciales a la comprensión del texto. Los capítulos más especializados están acompañados de un glosario extenso. Antes que presentar nuevos resultados, los autores se esforzaron en restituir el estado de los conocimientos y de las dudas actuales, ayudados en esto por su experiencia de trabajo en el tema tratado y por una extensa revisión bibliográfica.

Benoît Bertrand y Bruno Rapidel

CAPÍTULO 1

TRAYECTORIA Y VIABILIDAD DE LAS CAFICULTURAS CENTROAMERICANAS

*Mario Samper K.**

*Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica;
Escuela de Historia, Universidad Nacional*

1 *Introducción*

Hace ya más de dos siglos que el café inició su polifacético itinerario en el istmo centroamericano. Si al principio fue una exótica bebida de clérigos, gentes acaudaladas y representantes de la Corona española, en el transcurso del siglo XIX pasó a ser un importantísimo producto de exportación, destinado primordialmente a Europa, y luego también a Norteamérica. Lo que fue al inicio una planta más bien ornamental y en proceso de aclimatación experimental, pronto devino un cultivo de plantación, integrado de muy diversas maneras a las agriculturas del Pacífico centroamericano, adaptándose a las condiciones preexistentes pero también transformándolas hondamente. Tras insertarse de modo perdurable en las estructuras productivas y sociales que en cierto modo contribuyó a crear, la caficultura ha sido -a pesar de sus vicisitudes- un componente fundamental de las respectivas economías y sociedades.

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Fax: (506) 238-2936. Correo electrónico: msamper@cariari.ucr.ac.cr

1.1 Diversidad de los sistemas de producción de café

Tecnológicamente, el café se ha cultivado, procesado y transportado en formas sumamente variadas, desde rústicas hasta altamente tecnificadas. Ha formado parte de policultivos tradicionales y de múltiples asociaciones bi- o policultivistas. Algunas veces ha sido un producto secundario, otras veces el dominante. También se ha sembrado en numerosas plantaciones especializadas, con sombra permanente de doble propósito o con árboles cuya función primordial es brindar umbría, regulada mediante la poda. Asimismo, tanto en sus inicios como de nuevo en las últimas décadas, se ha cultivado exitosamente a pleno sol, con o sin barreras arbóreas circundantes.

En Centroamérica, la baya arábica se ha sembrado algunas veces en bosques primarios o secundarios, semejantes al medio en el cual se originó, como también en claros abiertos natural o artificialmente, y entre árboles remanentes de una deforestación parcial. Históricamente, su temprana expansión a menudo ocurrió en campos que fueron de labranza o pastizales, en tanto que la posterior incorporación de nuevas áreas cafetaleras frecuentemente condujo al establecimiento de plantaciones en tierras recién desmontadas.

Quiénes lo cultivaron, y dónde, son cuestiones que evidencian la polivalencia social y la adaptabilidad de la caficultura a situaciones bien diversas. En el istmo centroamericano, el café fue cultivado a pequeña escala desde la segunda mitad del siglo XVIII por españoles, criollos, indígenas y mestizos. Después de la Independencia en 1821, fueron estableciéndose plantaciones comerciales de variada extensión en fincas de terratenientes locales, pobladores campesinos e inmigrantes de varias partes del mundo. Se plantó en tierras comunales y ejidales, realengas o baldías, parcelas familiares y grandes haciendas. Hasta el presente, coexisten en América Central fincas unidades productivas cafetaleras sumamente variadas, tanto en lo relativo a su tamaño como a los sistemas de cultivo y la organización del trabajo.

Ocasionalmente se han plantado cafetos más o menos dispersos en determinados sitios del bosque, sin mayor atención durante el año, por parte de miembros de algunas comunidades indígenas o por colonizadores campesinos en áreas de frontera agrícola. En lugares donde la tierra sigue siendo un factor abundante pero comienza a desarrollarse la agricultura comercial se han intercalando cafetos de libre crecimiento a baja densidad de siembra con otros árboles y plantas cultivadas, y cuando se establecen plantaciones continuas suelen ser bastante extensivas, como

fue la tónica en Guatemala. En lugares más fuertemente integrados a circuitos mercantiles, y sobre todo con mejores vías de comunicación, las plantaciones tienden a ser más especializadas. Allí donde la tierra ha sido un recurso escaso -v.g. en El Salvador- suelen observarse procesos de intensificación, inicialmente basados en prácticas culturales más esmeradas, intensivas en fuerza de trabajo. Al encarecerse la mano de obra, especialmente en décadas recientes, se ha recurrido cada vez más a la aplicación de fuertes dosis de agroquímicos y otros modos de tecnificación de la caficultura, como sucedió en Costa Rica.

El café se ha beneficiado en Centroamérica tanto por vía húmeda como seca, dependiendo sobre todo de la disponibilidad local de agua y de las vías y medios de transporte. En unidades productivas campesinas, el café seco se ha descascarado en pilones, y en fincas de mayor extensión se recurrió inicialmente a trillas de tracción animal, luego a sistemas mecanizados. El procesamiento por la vía húmeda se ha realizado algunas veces en forma artesanal, con despulpadoras manuales, pero ha prevalecido el beneficiado agroindustrial, ya sea en fincas de mayor extensión o en centrales que reciben cereza de muchas fincas.

Para llevar la fruta al beneficio y luego para movilizar los sacos de semilla seca hasta la ciudad o el puerto más cercano, se ha recurrido a una amplia gama de medios de transporte, a fin de superar los obstáculos de una geografía por lo general abrupta. En Guatemala y Nicaragua se emplearon cargadores humanos, usualmente indígenas. Desde fincas remotas y por trochas escarpadas, en diversas zonas montañosas del istmo se utilizaron mulas y caballos. Cuando lo permitió la topografía, se prefirieron en el siglo pasado las carretas tiradas por bueyes, o pequeñas embarcaciones allí donde existían vías fluviales o lacustres. Entre fines del siglo XIX e inicios del XX cobraron importancia los ferrocarriles, sobre todo para la movilización del café hasta los puertos. A partir de la década de 1920, se haría cada vez más importante el transporte automotor, pero a mediados del siglo se recurrió incluso a aviones para sacar cargamentos desde sitios remotos colonizados por europeos, como la colonia italiana de San Vito en el sur de Costa Rica, hasta que se construyeron caminos adecuados.

La mano de obra permanente y estacional, para labores de atención y cosecha difícilmente mecanizables, fue reclutada por vías igualmente heterogéneas, según las circunstancias locales y -especialmente- las relaciones de poder al interior de cada sociedad. Hubo coacción extraeconómica, apoyada en subordinaciones étnicas heredadas del período colonial, para el reclutamiento forzoso de trabajadores indígenas, espe-

cialmente cuando sus comunidades se encontraban distantes de las regiones productoras de café. El trabajo asalariado predominó en las haciendas, sobre todo allí donde se encontraba más avanzado el proceso de mestizaje o donde la expansión cafetalera arrasó con las comunidades autóctonas. El trabajo familiar no remunerado fue la relación preponderante en unidades productivas campesinas, aunque en ellas también se dieron formas de intercambio laboral y contratación de mano de obra. En algunas fincas mayores se experimentó con modalidades de aparcería y colonato, esto es, la entrega de parcelas de café a campesinos quienes debían atender y cosecharlas, a cambio de una remuneración que podía combinar derechos de usufructo para cultivos de subsistencia, jornales por determinadas labores, y cierta participación en la cosecha.

Complejos entramados mercantil-crediticios contribuyeron a establecer vínculos estrechos -a la vez integradores y conflictivos- entre quienes sembraban, cosechaban y transportaban, quienes financiaban y comercializaban, quienes importaban y quienes finalmente consumían los cafés centroamericanos, cada vez más apetecidos en ultramar. Estas cadenas de producción y exportación se diferenciaron tanto por el peso relativo de la producción hacendaria y campesina como por el grado de centralización del beneficiado y la comercialización externa del grano.

A lo largo de su recorrido bicentenario, la caficultura fue adquiriendo diversos, contrastantes significados para estas sociedades: factor importante de diferenciación social y acumulación de capitales, generó también -para algunos sectores campesinos- oportunidades de participación en una lucrativa producción para lejanos mercados. Base material de élites poderosas, afirmó asimismo la presencia económica y social de un campesinado con vocación mercantil. Fundamento de realidades oligárquicas y autoritarias e imágenes de preeminencia absoluta por parte de unas pocas familias privilegiadas, se consideró asimismo un cultivo eminentemente democrático, tanto en el plano de la producción como en el de los regímenes políticos. A primera vista excluyentes, quizás estos sentidos contrapuestos reflejen de alguna manera las contradicciones propias del desarrollo cafetalero en Centroamérica.

1.2 *¿Por qué un estudio histórico?*

En las páginas siguientes, se ofrecerá una visión abreviada de las grandes líneas de la evolución tecnológica de las caficulturas del istmo, desde fines del siglo XVIII hasta el presente, con ciertas referencias

comparadas en la medida en que lo permitan el estado de los conocimientos y las restricciones de un capítulo introductorio. Esperamos que ello permita establecer algunos enlaces entre los procesos históricos reseñados y las cuestiones actuales. También sería deseable que de esta confrontación de perspectivas surjan diálogos que trasciendan las fronteras disciplinarias entre conocimientos especializados que abordan, desde diversos ángulos, una problemática común.

Sin duda es útil, e incluso indispensable, una visión retrospectiva para el análisis de las disyuntivas del presente y para la evaluación de opciones tecnológicas, estrategias económicas y políticas sectoriales o nacionales. Las implicaciones actuales de procesos pretéritos afectan a los caficultores mismos y a muchas otras personas ligadas directa o indirectamente a este rubro; su comprensión es un ingrediente necesario para una opinión pública informada y para la toma responsable de decisiones que atañen al futuro de una actividad que fue durante un largo siglo la base del crecimiento agroexportador en el eje montañoso del Pacífico centroamericano.

1.3 Trayectoria y viabilidad

En el título de este capítulo relacionamos “trayectoria”, en el sentido de proceso histórico y proyección de tendencias, con la impostergable cuestión de la “viabilidad” de las caficulturas en el volcánico cinturón del continente americano. Con el segundo término aludimos al conjunto de factores que han hecho (o pueden hacer) menos o más factible el desarrollo continuado de la producción cafetalera en determinadas regiones y períodos.

Aunque nuestra atención estará centrada principalmente en las propias fincas cafetaleras, resulta indispensable considerar asimismo lo que sucede en otras fases del negocio cafetalero. De ahí que debemos hacer alguna referencia a la participación de distintos tipos de unidades productivas, tanto agrícolas como agroindustriales, en las cadenas de producción primaria y transformación, transporte, financiamiento y comercialización.

La relación entre trayectoria histórica y viabilidad actual o futura de las caficulturas del istmo es, por consiguiente, una cuestión bastante amplia, que abarca diversas facetas de esta actividad productiva. Incluye aspectos propiamente agroecológicos y agronómicos, tecnologías de transformación y mecanismos económico-financieros. Todo ello se inscribe, por supuesto, en una cambiante organización social del trabajo y de los

intercambios. También nos remite, inevitablemente, a las condiciones de negociación entre quienes participan en la cadena de producción y comercialización del café, e incluso ha de tomar en cuenta el papel del Estado y las relaciones de poder pertinentes. Pese a su importancia, varios de estos aspectos no podrán tratarse directamente en este vistazo a la evolución tecnológica de las caficulturas centroamericanas. De todos modos, las relaciones socioeconómicas y la dinámica sociopolítica están presentes de muchas formas, no siempre explícitas, en los procesos de cambio tecnológico-social que a grandes rasgos esbozaremos aquí.

Los factores que han condicionado la viabilidad de la caficultura en distintas regiones y períodos inciden, directa o indirectamente, en la construcción de la “competitividad”, en el sentido más restringido de capacidad para seguir colocando un producto en el mercado de manera eficiente y rentable. Sin embargo, la problemática planteada trasciende la cuestión inmediata de cuán competitivas son hoy las caficulturas del istmo. Se trata de una viabilidad económica, social y ecológica de mayor alcance, construida mediante procesos que se remontan a períodos anteriores y se proyectan hacia el mediano y largo plazo. De ahí la necesidad de una perspectiva diacrónica, que permita no sólo ubicar con mayor claridad las disyuntivas actuales sino también visualizar nuevos horizontes. Para iniciar nuestro recorrido, conviene remontarnos de inmediato a los orígenes de una historia bisecular.

2 Los Inicios de la Caficultura en el Istmo

En esta sección se comentará sobre la llegada del café a Centroamérica, desde las Antillas, así como el modelo tecnológico inicial y sus primeras adaptaciones a las condiciones agroecológicas y sociales del Pacífico centroamericano.

2.1 El arribo del café

A partir de mediados del siglo XVIII, fueron introducidas algunas semillas o plantas de café al Pacífico centroamericano, provenientes directa o indirectamente del Caribe español, inglés y francés. Tras una exitosa aclimatación a las volcánicas tierras de valles intermontanos, hacia el ocaso del período colonial se encontraban cafetos más bien

ornamentales en jardines y huertos de clérigos, como también de algunos notables en la Capitanía General de Guatemala.

Resulta difícil precisar cuando se inició el cultivo del café en Centroamérica, pero hay referencias que sugieren una fecha más temprana de lo que generalmente se ha supuesto. Una relación colonial de 1744 señala que en las tierras templadas de Guatemala, por el camino de Cobán, había "ananás, rosales, *cafetales*, plátanos, tabaco, árboles de cacao y quina, cochinilla, naranjos, yucas y espinos." Agrega la misma fuente, refiriéndose al tráfico comercial realizado en aquel tiempo por los indios de Cobán, que "a Izabal llevan harina, *café* y tabaco".¹

También para El Salvador hay algunas referencias, lamentablemente imprecisas, a una temprana introducción del café a esa provincia del Reino de Guatemala hacia 1740.² Sin embargo, no habría sido entonces un cultivo comercial, sino para consumo por parte de quienes tenían ejemplares del arbusto arábigo en sus huertos, como planta exótica y ornamental.

Si bien el café podría haber llegado a Guatemala y El Salvador apenas dos décadas después de su introducción al Caribe, no parece que la Corona española impulsara decididamente en ese momento la caficultura comercial en el istmo, como sí lo hicieron las potencias europeas en sus posesiones antillanas. En Saint Domingue, que llegó a ser en la segunda mitad del siglo XVIII la más valiosa colonia del imperio francés y principal productora tanto de café como de azúcar, se habían logrado significativos avances técnicos en la caficultura y en el beneficiado, especialmente por la vía húmeda. Durante la revolución haitiana, que entre 1790 y 1804 condujo a la independencia de aquella colonia insular y abolió allí la esclavitud, un grupo de emigrados franceses encontró acogida en Cuba y Puerto Rico, como lo harían otros en Jamaica. En los albores del siglo XIX, los plantadores galos que huían del movimiento emancipador haitiano impulsaron la transferencia de tecnologías cafetaleras a Cuba, donde se publicaron manuales de amplia difusión basados en sus experiencias anteriores.

1 La tierra templada en la América Central. Relación hecha por Jaime Villar. Caracas, 1744, publicada en Anales de la Sociedad de Geografía e Historia (Guatemala), año XXXI, Núm. 1 al 4, enero a diciembre de 1958, p. 68. Agradezco al Dr. José A. Fernández el haberme referido a este documento.

2 Esta es la primera fecha mencionada en varias reseñas históricas de la caficultura salvadoreña, aunque no está claro quién habría introducido el café tan prontamente, ni de qué parte de las Antillas provenía la semilla. Cf., por ejemplo, "La caficultura salvadoreña" (mimeografiado s.f., C. 1991), y Pierrick Billan, "Bilan et perspectives de la filière café au Salvador", en *Plantations, recherche, développement*, Vol. 5, Núm. 3, mayo-junio de 1998, p. 177.

Fue, pues, por intermedio de Cuba que llegó al istmo centroamericano el modelo tecnológico inicial, de extracción gala, rápidamente adoptado en Costa Rica, donde la caficultura se expandió rápidamente. Quizás la expresión más tangible de tal transferencia tecnológica fuese la reimpresión, en el todavía pueblerino San José de 1839, de un notable texto cubano sobre la forma de cultivar café en esa colonia española, el cual se apoyaba directamente en las enseñanzas prácticas y las recomendaciones de los plantadores francoparlantes.³

Entre las postrimerías del siglo dieciocho y las campanadas de la Independencia, se establecieron las primeras plantaciones, relativamente pequeñas pero con finalidad comercial, inicialmente concentradas en la zona central de Costa Rica, poblada desde tiempos coloniales. Posteriormente, los conocimientos prácticos y recomendaciones derivadas de esta experiencia inicial se trasladarían a otras regiones tanto del Valle Central costarricense como del Pacífico centroamericano. Por el momento, veamos en qué consistía, a grandes rasgos, ese modo de cultivar, recolectar y procesar el fruto arábigo.

2.2 *El sistema de cultivo importado*

En lo relativo a la plantación misma, se recomendaba una cuidadosa disposición de los cafetales en cuadro, sin sombra intercalada aunque con árboles circundantes. Se trataba, pues, de un cultivo a plena o casi plena exposición solar, con densidades de siembra relativamente altas -para la época- en comparación con los cafetales bajo sombra. Aunque había al respecto una considerable variabilidad, para el caso costarricense hacia mediados del siglo XIX un autor menciona densidades de 1400 a 1700 matas por manzana (hasta 2448 por hectárea).⁴

La función de los árboles que rodeaban el cafetal parece haber sido la de rompiewientos, ciertamente esencial en las tormentosas Antillas. En

3 Nos referimos a las *Consideraciones sobre el cultivo del café en esta Isla*, obra escrita por Alejandro Dumont y publicada en La Habana en 1822. Para mayores informaciones al respecto, pueden consultarse: Francisco Pérez de la Riva, *El café. Historia de su cultivo y explotación en Cuba* (La Habana: Imprenta Marticorena, 1944), y Carlos Naranjo, *La modernización de la caficultura costarricense, 1880-1950* (tesis de maestría en Historia, Universidad de Costa Rica, 1997), cap. 1.

4 Cf. Iván Molina, *Costa Rica (1800-1850). El legado colonial y la génesis del capitalismo* (San José: Editorial Universidad de Costa Rica, 1991), p. 241.

Centroamérica, tales barreras protectoras tenderían a circunscribirse a zonas de fuertes ventoleros, pero los manuales de la época siguieron recomendando el sistema importado del Caribe.⁵

En 1845 el Consulado de Comercio de Guatemala publicó una *Memoria sobre el cultivo del café, arreglada a la práctica que se observa en Costa Rica*.⁶ En lo relativo a la formación del cafetal, se recomendaba:

“...limpiar, arar y preparar bien el terreno que para cincuenta mil árboles debe ser cerca de una caballería de tierra, ó un cuadro que comprenda sesenta manzanas y sea capaz para la siembra proyectada. No importa que en sesenta manzanas quepan sesenta y cinco mil matas, porque debe contarse que todo no se ha de sembrar, sino que se han de dejar rondas amplias, calles interiores, y lugar bastante para casa de habitación y patios de beneficio. (...) El cuadro supuesto tendrá setecientos setenta y cinco varas por cada lado: se dejará una ronda de diez varas para sembrar en ella tan pronto como sea posible árboles frutales de gran tamaño á tres varas y media de la cerca con la distancia de diez varas de uno al otro: á las otras tres varas y media se sembrará una calle de platanos que quedará tres varas distante del café (...)

“(...) el quince de abril se principiarán á hacer hoyos de una tercia de diámetro en los cuadros con la distancia del uno al otro de tres varas en líneas rectas dejándose calles también de tres varas; pero para que el café cuando grande goce de mejor ventilación y desahogo, cuídese que no se hagan en cuadro sino en quincunce: es decir, que cada línea de café no corresponda á la inmediata sino á la siguiente.”⁷

Ciertamente, la densidad de siembra recomendada era inferior a la que reportan algunas fuentes para las primeras décadas de la caficultura costarricense. Posiblemente con las recomendaciones citadas se procuraba optimizarla en aras de la perdurabilidad del cafetal, evitando el rápido agotamiento de los suelos. Por otra parte, aunque el cultivo a pleno sol parece haber predominado en Costa Rica hasta la década de 1860, encon-

5 Para un tratamiento más amplio de este tema, pueden consultarse otros dos trabajos del autor: Mario Samper, “Modelos vs. prácticas. Acercamiento inicial a la cuestión tecnológica en algunos manuales sobre caficultura, 1774-1895”, en *Revista de Historia* (Costa Rica), Núm. 30, julio-diciembre de 1994., e “Itinerarios tecnológicos del café en Centroamérica, 1850-1930”, en *Ateliers de Caravelle* (U. de Toulouse), en prensa.

6 Dicha *Memoria* fue escrita por Manuel Aguilar, e impresa en Guatemala por la Imprenta de la Paz, en 1845.

7 Manuel Aguilar, *Memoria...*, en *Revista de Historia* (Costa Rica), Núm. 14, julio-diciembre de 1986, p. 207-208.

tramos asimismo algunas referencias a experiencias tempranas de caficultura con árboles de sombra como el cuajiniquil y la guaba.⁸

Claro está que había otros sistemas de cultivo del café, en los cuales éste formaba parte de un conjunto heterogéneo que podía incluir otros productos alimenticios como tubérculos, plantas rastreras, musáceas intercaladas, árboles frutales o sombra permanente. El modelo especializado de inspiración antillana probablemente haya sido más representativo de las plantaciones establecidas en fincas de agricultores relativamente prósperos y con acceso a informaciones del exterior. Ciertamente, las descripciones de viajeros solían referirse preferencialmente a las haciendas que visitaban, más que a las pequeñas explotaciones familiares. El café debe haberse insertado de múltiples maneras en los policultivos campesinos, modificándolos sólo gradualmente a medida que fue cobrando mayor relevancia como producto mercantil. Aunque al respecto hay poca evidencia para las décadas iniciales, más adelante se escucharían voces que denunciaban peyorativamente la existencia de numerosas fincas de este tipo, las cuales respondían a una lógica productiva bien distinta a la del caficultor especializado.⁹

De las varias labores del cafetal, según los tratadistas de la época, era fundamental la desyerba, que debía hacerse tan frecuentemente como fuese necesario para mantener limpia la plantación. Para ello podían utilizarse palas afiladas, machetes o azadones, y cerca de la base del cafeto debían arrancarse manualmente las malezas. Durante la estación lluviosa, los deshechos vegetales podían colocarse en las "calles" entre hileras de cafetos. Para conservar humedad durante el verano, ya era conocido el sistema que en Centroamérica se denominaría "aporca", a saber, el traslado del lomillo para colocar los deshechos parcialmente descompuestos

8 Cf., por ejemplo, como observación cualitativa, las referencias a los cafetales una de las primeras familias que tuvieron plantaciones relativamente grandes cerca de la ciudad de San José, transmitidas por tradición familiar, y relatadas en: Mariano Montealegre, "Cafetales a pleno sol versus cafetales a la sombra", en *Suelo Tico*, Vol. VII, julio-diciembre de 1954, p. 253-275. Sobre este punto, como sobre otros aspectos del cultivo y beneficiado en el siglo XIX, nos apoyamos en el reciente trabajo de Gladys Rojas Chaves, *Café, ambiente y sociedad en la cuenca del río Virilla, Costa Rica (1840-1955)* (tesis de Maestría en Historia, Universidad de Costa Rica, 1998).

9 Cf., por ejemplo, el apartado sobre la caficultura decimonónica costarricense en Carlos Naranjo, Mario Samper y Paul Sfez, *Entre la tradición y el cambio: Evolución tecnológica de la caficultura costarricense* (San José: Universidad Nacional e IPGH, 1998).

y cierta cantidad de tierra al pie de la mata.¹⁰ Ello no significa en absoluto que todos los caficultores de la época realizaran sistemáticamente la desyerba. Esta era mucho más necesaria en los cafetales especializados a pleno sol que en un huerto policultivista con sombra intercalada, donde ésta limitaba el crecimiento de otras plantas.

La poda no era practicada por todos los caficultores, pero sí figuraba entre las recomendaciones hechas en los manuales, y en descripciones de prácticas culturales hechas tanto por tratadistas como por viajeros foráneos. Cuando se realizaba este procedimiento, en la Centroamérica de mediados del XIX, consistía básicamente en quebrar o cortar el cogollo o punta apical del cafeto, una o más veces, a fin de limitar el crecimiento vertical del arbusto. Con ello se procuraba restringir su altura a un máximo de dos varas, para facilitar la recolección de los frutos. Al mismo tiempo, este procedimiento estimulaba la producción de un mayor número de ramas laterales, incrementando la fructificación. Pese a las ventajas potenciales y al entusiasmo con que se recomendaba la poda, numerosos caficultores permitían el crecimiento libre o casi libre, de modo que los cafetos alcanzaban alturas de varios metros. Especialmente en Guatemala, algunas de las primeras fotografías de cafetales registrarían arbustos que duplicaban con creces la estatura de las recolectoras, que en ciertas haciendas estaban provistas de escaleras para cosechar el fruto.

El beneficiado por vía seca consistía en secar la cereza al sol y luego descascarar el grano, en tanto que la vía húmeda requería de un despulpado mecánico inicial, fermentación controlada y lavado, con posterior secado de la semilla. Este último sistema era conocido en el siglo XIX como el "método antillano", y existen textos e ilustraciones del mismo, inspirados en la experiencia franco-antillana.

2.3 Adaptaciones tecnológicas y sociales

La introducción del café al espacio geográfico y social del istmo conllevó importantes alteraciones, tanto en los sistemas agrarios a los cuales

10 En este párrafo, como en los dos siguientes, resumimos conceptos expresados reiterativamente en varios manuales de la época, tanto el ya citado de Aguilar como otros antillanos en los cuales parece haberse inspirado él mismo, y que quizás fueron consultados por algunos de los primeros caficultores más o menos ilustrados del istmo. El más importante tratadista franco-antillano, quien escribió desde Jamaica para sus congéneres británicos fue P. J. Laborie, *The Coffee Planter of Saint Domingo* (Londres: T. Cabell y W. Davies, 1797).

fue injertándose como en las formas de realizar la producción cafetalera y de movilizar la mano de obra requerida por ella. Las condiciones agroecológicas y socioeconómicas del Pacífico centroamericano eran, ciertamente, bien distintas de las que imperaban en el archipiélago desde el cual se había traído el material genético y los conocimientos indispensables. En el transcurso del siglo XIX, la difusión gradual del exótico cultivo generaría importantes adecuaciones a las condiciones climáticas locales -como la introducción del sombrío- y distintos modos de organización social de la actividad cafetalera.

El legado socioeconómico de la Colonia en Centroamérica fue bastante diverso, y definió puntos de partida disímiles para la introducción de la caficultura: Al norte del istmo, densamente poblado desde tiempos precolombinos y aun después de la Independencia, coexistían importantes comunidades indígenas, pueblos mestizos, poderosos hacendados y ricos mercaderes. La estructura productiva allí conjugaba una serie de actividades agropecuarias y artesanales, mayormente para consumo local, pero sus exportaciones principales eran los tintes: índigo en El Salvador, cochinilla en Guatemala. Hacia el sur del istmo, las poblaciones autóctonas habían disminuido considerablemente, y la producción agropecuaria tanto de las haciendas como del campesinado mestizo, bastante diversificada, se había orientado primordialmente hacia mercados locales y regionales, además del autoconsumo.

En comparación con las Antillas, la tierra apta para café era un recurso relativamente abundante en las montañas del occidente centroamericano, y en su mayor parte tenía cobertura boscosa. Si en un principio los cafetales sustituyeron a tierras de labranza y pastoreo dentro del espacio ocupado desde el período colonial, bien pronto devendría un cultivo de fronteras agrícolas, desde el noroeste del Valle Central en Costa Rica hasta la Bocacosta guatemalteca. Los colonizadores campesinos, más o menos numerosos según la región y las relaciones de fuerza locales, transitaban de la roza y quema, como forma de aprovechamiento semi-itinerante de espacios forestales, al plantío permanente como vía de apropiación y de explotación estable de las nuevas tierras. Por otra parte, hombres acaudalados y próximos a los círculos del poder se apropiaban de vastas extensiones, baldías o pertenecientes a comunidades autóctonas, y establecían haciendas parcial o principalmente cafetaleras. Para unos y otros, cabía la posibilidad de un desmonte selectivo, en el cual podían dejarse en pie determinados árboles, con lo cual se ahorraban el trabajo de tumbarlos y brindaban algún sombrío a los cafetos, protegiéndolos también de fuertes vientos.

A diferencia de las plantaciones caribeñas que sirvieron de modelo tecnológico inicial, ni la atención de los cafetales del istmo durante el año ni la recolección de la cereza y su procesamiento fueron labores realizadas por esclavos. En cada país se desarrollaron distintas modalidades de relación laboral, que reflejaban tanto las herencias coloniales como las dinámicas sociales del siglo XIX.

En Costa Rica, las pequeñas comunidades indígenas de la Meseta Central ocupaban suelos óptimos y ubicaciones apropiadas para la expansión inicial de la caficultura, y dada su relación de fuerza muy desigual, no pudieron resistir la rápida privatización que acompañó al temprano crecimiento agroexportador, al punto que desaparecieron entre 1830 y 1860. Por otra parte, la escasez de brazos y la existencia de una frontera agrícola efectivamente abierta a la colonización, primero dentro y luego fuera de la depresión tectónica central, limitaron los alcances de la producción hacendaria. El desarrollo de ésta estuvo sujeto a la disponibilidad de mano de obra asalariada, con niveles de remuneración altos en comparación con los del norte ístmico. Una parte importante de la producción cafetalera provino siempre de unidades productivas familiares, formalmente independientes aunque sujetas al triple o cuádruple monopolio de la élite cafetalera, que controló el beneficiado, el crédito, y la comercialización del grano, así como los hilos del poder político.

En Guatemala, donde eran especialmente importantes las comunidades indígenas y la mayor parte de sus tierras se situaban en el altiplano, por encima de las altitudes apropiadas para el café, hacendados y gobernantes recurrieron a mecanismos coercitivos, endeudamiento, amenazas y otras estrategias para reclutar trabajadores indígenas, las cuales se apoyaban claramente en las relaciones de dominación a que estaban sujetas las etnias autóctonas. A partir de mediados del siglo XIX, las crecientes dificultades para colocar en el mercado internacional el tinte extraído de la cochinilla favorecerían la reorientación de capitales, brazos y tierras del occidente guatemalteco hacia la prometedor planta arábiga, cuyos frutos económicos ya eran visibles para todo el istmo en la otrora pobre y marginal Costa Rica.

Las tierras comunales indígenas en El Salvador, por el contrario, eran idóneas para la caficultura, y a falta de amplios territorios por colonizar, la presión sobre ellas inauguraría una larga historia de conflictos violentos por el control de las mismas. Sin renunciar al uso efectivo o potencial de la fuerza para reclutar trabajadores, en caso necesario, y sin necesidad de pagar salarios elevados, los hacendados salvadoreños contaron con una adecuada oferta de jornaleros que les permitió explotar intensivamente

sus propiedades. Paralelamente, la privatización de tierras ejidales y comunales, acelerada en las últimas décadas del siglo XIX, contribuyó asimismo al surgimiento de un campesinado mestizo, parcialmente caficultor.

Hacia la década de 1850 hubo alguna producción de café en el sur de Nicaragua, vinculada en parte al movimiento de pasajeros, especialmente norteamericanos, por el río San Juan hacia la costa Pacífica, rumbo a California. Sin embargo, la continua expansión cafetalera en el Pacífico sur nicaragüense cobraría fuerza solamente hacia el fin de siglo, y posteriormente más hacia el norte, en la zona de Matagalpa, donde hubo presencia de inmigrantes alemanes. Entre las diversas formas de obtener trabajadores, sobre todo en esa otra zona, llama la atención el reclutamiento coercitivo de indígenas, de manera análoga al caso guatemalteco. En ambas regiones se establecieron haciendas relativamente grandes, pero ello no impidió el desenvolvimiento de una colonización campesina en el centro-norte del país, en tierras especialmente aptas para el cultivo del café.

Sólo en Honduras fue poco significativa la caficultura a lo largo del siglo diecinueve, y aun en las primeras décadas del veinte. Algo se produjo en la zona de Choluteca, cerca de El Salvador, pero no figuraba significativamente en las cifras del comercio exterior hondureño, quizás porque salía sin trámite aduanero hacia el país vecino, desde el cual se reexportaba. Las zonas potencialmente cafetaleras eran pequeñas, dispersas, y poco pobladas. No sería sino hasta después de mediados del siglo XX que se dinamizaría la caficultura hondureña.

Entre el momento de introducción de la planta y aquél en el cual cobró fuerza la producción comercial mediaron lapsos bien distintos en cada país centroamericano. En el siguiente apartado esbozaremos las grandes líneas del proceso de expansión territorial de la caficultura centroamericana en las últimas décadas del siglo XIX y nos referiremos también a los modos en que se organizó su producción.

3 El Crecimiento Agroexportador Extensivo: 1850-1900

Entre mediados y fines del siglo XIX, ante la fuerte demanda externa y a falta de intensificación tecnológica, la producción cafetalera del istmo se incrementó fundamentalmente a través de la incorporación de nuevas tierras e insumos laborales. Las economías de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica reorientaron parcialmente su esfuerzo productivo de otras actividades menos rentables o prometedoras hacia el cultivo

y transformación del café, para abastecer a un mercado que seguía siendo primordialmente europeo, aunque ya comenzaba a despuntar el estadounidense.

3.1 El café en el comercio exterior centroamericano

Las exportaciones centroamericanas de café, vistas como un todo, tuvieron una trayectoria fuertemente ascendente a lo largo del siglo XIX. Ya la caída de la producción haitiana había incentivado la producción en otras zonas, tanto del Caribe español e inglés como en tierra firme americana. Por otra parte, el consumo europeo y luego norteamericano aumentaba tanto o más rápidamente que la oferta de este producto, eminentemente tropical. Pese a bajas coyunturales del mercado, como la de 1883, la tendencia de los precios del café fue claramente alcista, y generaba expectativas de prosperidad futura. Al mismo tiempo, muchos bienes manufacturados, que se importaban desde Europa o Estados Unidos, tendían a abarataarse, tanto por la industrialización como por la reducción de fletes navieros y tiempos de travesía, gracias a los veleros mejorados y a los buques de vapor.

En cuanto a la participación de los distintos países centroamericanos en el negocio del café, hacia mediados de ese siglo era evidente que Costa Rica había tomado la delantera y aprovechaba al máximo las nuevas oportunidades. Guatemala y El Salvador, cuya producción de tintes todavía encontraba mercados, recién comenzaban a incursionar en la nueva opción agroexportadora. Sin embargo, en el transcurso de dos o tres décadas superaron ampliamente a las exportaciones costarricenses. En Nicaragua, el crecimiento de este rubro se aceleró hacia el fin de siglo, aproximándose en algunos años al volumen exportado por su vecino del sur. Para entonces, Honduras aún no figuraba como participante activo en el mercado internacional del bien denominado "grano de oro", y su comercio exportador era primordialmente bananero, complementado por actividades extractivas.

3.2 Sistemas de cultivo e introducción de la sombra

Ya a mediados del siglo XIX, algunos caficultores centroamericanos experimentaban con diversos tipos de árboles de sombra, posiblemente en busca de una adaptación a las condiciones climáticas locales. Tal parece

que había, además, un conocimiento cuando menos empírico de las propiedades de ciertas leguminosas para favorecer la fijación de nitrógeno en el suelo.¹¹ No se trataba, todavía, de un arreglo sistemático y uniforme del sombrío, sino que se intercalaban árboles diversos, con resultados probablemente ambiguos. Ciertos pequeños caficultores entresembraban musáceas y frutales, que quizás competían con los cafetos por nutrientes pero en todo caso brindaban a los agricultores una producción complementaria. No obstante, el modelo de plantación reflejado en los manuales y otros escritos de aquella época seguía siendo el del cafetal a plena o casi plena exposición solar.

En los años siguientes, fue introduciéndose, tanto en el norte de Centroamérica como en su extremo sur, la práctica de plantar regularmente árboles de sombra, especialmente erythrinas e ingas. La generalización de la sombra se debió en parte a la necesidad de proteger a los cafetos del calor excesivo y de la fuerte insolación, sobre todo durante la estación seca. De hecho, se mejoraba con ello el microclima y se lograba -quizás empíricamente- un ciclo agroecológico más próximo al del bosque original, y se prolongaba la vida del cafetal.

La contrapartida principal del cultivo bajo sombra, comparado con el de plena exposición solar, era una menor producción en los primeros años. Este efecto se acentuaba si la sombra era densa, razón por la cual se optaba usualmente por árboles de crecimiento rápido que respondiesen a la poda, permitiendo variar la irradiación durante el año. Por su parte, el cultivo a pleno sol agotaba más rápidamente la fertilidad natural del suelo, y salvo que se abandonara el cafetal, se hacía indispensable aplicar considerables cantidades de abonos para mantener la producción.

Al concluir el siglo, se debatían arduamente las ventajas y desventajas de cada sistema, tanto en la prensa agrícola del istmo como en las asociaciones de caficultores. En la discusión sobre técnicas y principios participaban algunos productores más o menos "ilustrados" e innovadores, no sólo grandes sino también medianos, que relataban sus propias experiencias. También aportaron criterios al debate varios investigadores europeos, contratados por entidades científicas locales, así como agrónomos centroamericanos formados para entonces en ultramar. Sin ser concluyentes, tales discusiones técnicas ampliaron sustancialmente la base de

11 Sobre este punto, se encontrarán interesantes informaciones y análisis en el trabajo de Carlos Naranjo, *La modernización de la caficultura costarricense, 1890-1950* (tesis, Maestría Centroamericana en Historia, Universidad de Costa Rica, 1997).

conocimientos, mostraron algunas ventajas o desventajas de sistemas alternativos, y generaron propuestas para el mejoramiento de las caficulturas del istmo.¹²

El acceso a determinados insumos tecnológicos fue notoriamente diferenciado entre tipos de unidades productivas, aunque también hubo al respecto importantes variaciones interregionales. Así, por ejemplo, la aplicación de guano y otros fertilizantes importados, para restituir nutrientes minerales al suelo, quedó circunscrita básicamente a ciertas fincas relativamente grandes en zonas donde se había cultivado café durante varias décadas, con el consiguiente agotamiento de la fertilidad natural de la tierra en las numerosas fincas que no lo practicaban.

3.3 Evolución temprana del beneficiado y la comercialización

Durante la fase inicial de la caficultura centroamericana, muchos campesinos y algunos productores más acaudalados habían secado al sol las cerezas, en patios usualmente rústicos, para luego separar la pulpa seca de la semilla en "pilones" y "canaos" de madera, utilizadas desde tiempos coloniales para otros productos alimenticios. Para el consumo familiar, debe haberse recurrido entonces, como se hace todavía en ciertas zonas rurales, a los "metates", artefactos precolombinos de piedra que servían para machacar maíz y tubérculos. Es probable que al preparar el grano por vía seca para la exportación también se hicieran adaptaciones de sistemas empleados en trapiches, y que se empleasen otras máquinas rudimentarias de tracción animal. Sin embargo, pronto prevalecería en Centroamérica, desde Guatemala hasta Costa Rica, el beneficiado del café por vía húmeda, normalmente en instalaciones situadas en fincas que procesaban su propio café y el de "clientes" vecinos. En ciertas zonas donde escaseaba el agua durante el período de recolección —especialmente del oriente salvadoreño, en el Pacífico sur nicaragüense y en el Pacífico

12 Algunas de estas conclusiones se basan, para el caso costarricense, en el trabajo de Carlos Naranjo, ya citado, y en resultados generados por el proyecto Historia Social de la Tecnología Cafetalera, de la Universidad Nacional. Para los demás países del istmo hay pocos estudios acerca de la evolución tecnológica de la caficultura, pero en las descripciones de viajeros es notoria la intensificación de la caficultura en El Salvador, con fuertes insumos laborales. Ello contrastaba, por otra parte, con el carácter mucho más extensivo de la caficultura guatemalteca.

norte de Costa Rica- siguió utilizándose la vía seca, que con el tiempo tendió a industrializarse o a ser sustituida por el beneficiado húmedo cuando el mejoramiento del transporte permitió trasladar la fruta fresca a mayores distancias.

Tanto para el beneficio húmedo como para el procesamiento por vía seca (salvo el de autoconsumo), fueron desarrollándose en la segunda mitad del siglo XIX redes de acopio y relaciones mercantil-crediticias que vinculaban a pequeños o medianos cultivadores con los mayores productores-beneficiadores de café. El peso relativo de unos y otros variaba, al igual que las condiciones bajo las cuales se establecían tales relaciones, pero en términos generales el acopio era realizado por las propias firmas beneficiadoras, que en la fase de expansión inicial de la caficultura solían ser también exportadoras.

El desarrollo de sistemas de acopio, financiamiento y comercialización interna del café se apoyó parcialmente en las intrincadas redes mercantil-crediticias heredadas del período colonial. En el Pacífico centroamericano, algunas de éstas demostraron ser útiles para facilitar el abastecimiento de la cereza durante las décadas iniciales de construcción de las cadenas regionales o nacionales de producción y comercialización. Junto con el café que se cultivaba en la propia hacienda, el de otros productores permitía aprovechar las economías de escala en el beneficiado, y reunir asimismo cantidades suficientes para la exportación.

El acceso al crédito estuvo asociado al papel de los beneficios como eslabón fundamental entre el cultivo y la comercialización del café. Algunas de las primeras exportaciones se hicieron sin mediar un pago inicial, sino la promesa de cancelación posterior. También podían hacerse compras directas a los productores por parte del beneficiador/exportador, y algunos intermediarios recibían café en pago de mercancías. Luego se estableció el sistema de los "adelantos": los productores que no procesaban su propio café recibían un anticipo monetario cuando entregaban el mismo a la empresa beneficiadora, y una vez concretizada la venta en el exterior se hacía una "liquidación" final, de la cual se descontaba el monto inicial.

Durante las primeras décadas de la caficultura en el istmo, para quienes entregaban su café al beneficio era bastante limitada la disponibilidad efectiva de información sobre la comercialización internacional. Hacia fin y principio de siglo, comenzaron a circular más ampliamente esas informaciones, a través de una prensa nutrida por despachos internacionales que llegaban más pronto y con mayor frecuencia por las mejores comunicaciones transatlánticas -gracias al cable submarino- e internas, con la

telegrafía. Ello contribuyó, junto con la difícil situación del mercado cafetalero en esos años, a que surgieran algunos cuestionamientos de la distribución del ingreso cafetero, notablemente en Costa Rica, pero también más adelante en El Salvador. En Guatemala, donde el peso de la caficultura campesina era menor y el gran tamaño de muchas fincas hacía que usualmente procesara cada una su propio café, las redes de acopio probablemente no alcanzaron un desarrollo análogo, y las relaciones entre "clientes" y beneficiadores tampoco adquirieron en aquel momento una trascendencia social tan amplia.

Hacia el exterior, las principales firmas cafetaleras locales mantenían a su vez relaciones comerciales y financieras con casas inglesas, alemanas, francesas y en menor grado norteamericanas. Mientras perduraron las tendencias favorables del mercado internacional de café, ello permitió a los exportadores centroamericanos, como también a algunos foráneos afincados en el istmo, acceder al crédito y colocar regularmente su café en ultramar. Ya en los últimos años del siglo diecinueve, al conjugarse la masiva sobreoferta brasileña y una crisis económica internacional, la incapacidad de pagar algunas deudas condujo a la transferencia de importantes propiedades cafetaleras, especialmente a manos germanas.

3.4 La diferenciación intra-regional

La movilización de los factores productivos para el impresionante y sostenido incremento de las exportaciones cafetaleras centroamericanas, en la segunda mitad del siglo diecinueve, muestra una pluralidad de respuestas locales a un mismo mercado mundial. Las modalidades tecnológicas y sociales que fue adquiriendo en cada caso la caficultura tuvieron mucho que ver con las estructuras agrarias precafetaleras, pero también con la forma en que fueron resolviéndose, en cada sociedad y período, ciertas cuestiones medulares.

Entre otros factores que favorecieron la diferenciación, cabe mencionar el acceso socialmente diferenciado a tierras aptas para el café, y su habilitación mediante vías de comunicación, así como la movilización de fuerza de trabajo permanente y estacional mediante diversos métodos. También fue crucial la disponibilidad efectiva y oportuna de capital para inversiones agrícolas y agroindustriales, como también para financiar los intercambios locales y transatlánticos. Indispensable fue también el dominio de información tecnológica y de mercados, cuya circulación distaba mucho de ser fluida y transparente.

¿Por qué fueron tan diferentes respecto de otros, pero también dispares entre sí, los derroteros tecnológicos y sociales de este exótico cultivo durante el siglo XIX centroamericano? Cualquier respuesta que ensayemos nos remite obligatoriamente a las condiciones locales, tanto agroecológicas como sociales.

Las caficulturas del istmo fueron adaptándose gradualmente, mediante un proceso de ensayo y error, a las características climáticas y edafológicas del Pacífico centroamericano. A ello respondía, por ejemplo, la experimentación más o menos empírica con diversos grados de exposición solar. El resultado fue una caficultura que, más allá de sus variantes locales, se diferenció nítidamente del referente franco-antillano en el cual se había apoyado inicialmente.

En cada país, región y momento, el modelo tecnológico cafetalero se ajustó asimismo a la disponibilidad relativa de factores, a los modos de apropiación de la tierra y a las formas de movilización de la fuerza de trabajo. Así, los propios cafetales con sombra intercalada variaban notablemente en cuanto a las características de ésta, la densidad de siembra de los cafetos, la atención del cafetal durante el año y los modos de cosechar el fruto. De ahí que los sistemas de cultivo salvadoreños fuesen mucho más intensivos, por ejemplo, que los guatemaltecos, y que hubiese notorias divergencias entre otras regiones cafetaleras del istmo, e incluso al interior de algunas de ellas.

Las respectivas tradiciones tecnológicas locales constituían un punto de partida obligado para los agricultores que ensayaban el exótico cultivo. Podemos preguntarnos cómo incidió la experiencia productiva anterior, v.g. con plantaciones con sombra como el cacao, o con ciertos cultivos a pleno sol como el tabaco y el añil. Lamentablemente, las fuentes son parcas al respecto.

Por supuesto, la introducción y expansión inicial del café contribuyó también a generar transformaciones de variada índole: el cafetal mismo, con o sin sombra, podía afectar al microclima y generaba ciclos agroecológicos inéditos en la región; por otra parte, el tránsito de ganadería o cultivos anuales a una plantación más estable alteraba itinerarios laborales y muchas otras facetas de la organización técnica y social de la producción rural. Las redes de acopio, financiamiento y comercialización del café se basaron frecuentemente en otras de raigambre colonial, pero sin duda las modificaron, y ello de modos distintos según si el procesamiento se realizaba por vía húmeda o seca.

En cuanto a la fuerza de trabajo, en Centroamérica hubo una pluralidad de relaciones laborales: en las haciendas, la atención de los cafetales

durante el año era realizada tanto por peones residentes, con o sin derechos de usufructo, como por jornaleros adicionales contratados en los momentos de mayor demanda laboral, especialmente para las desyerbas. Los salarios eran relativamente bajos en El Salvador, donde se complementaban con una modesta ración alimenticia, mientras que en Costa Rica -donde la mano de obra era menos abundante y existía una frontera de colonización- se pagaban jornales más elevados, aunque usualmente sin alimento. Los miembros de unidades domésticas combinaban algunas veces el trabajo en lo propio y a jornal. Para la cosecha, sobre todo en Guatemala y Nicaragua hubo reclutamiento estacional más o menos coercitivo, mientras que en Costa Rica se recurrió sobre todo al pago a destajo. Las modalidades de reclutamiento laboral dependían de las condiciones locales, en términos de disponibilidad de factores pero también de las relaciones de fuerza entre los diversos grupos étnicos y sociales que participaron -voluntariamente o no- en el cultivo, recolección, procesamiento y transporte del café.

A diferencia de las plantaciones bananeras que se establecieron hacia finales del siglo en el litoral caribe, imponiendo determinadas modalidades de organización técnica y social del trabajo, las caficulturas centroamericanas del diecinueve eran sumamente heterogéneas. Evidenciaban el peso de las historias locales, como también las complejas interacciones entre el nuevo cultivo de exportación y las demás actividades productivas.

Tal multiplicidad de situaciones fue más evidente cuando el café se introdujo a sistemas agrarios con un largo historial en la región y nítidamente diferenciados entre sí. Pero también en las tierras nuevas pesaron notablemente las experiencias productivas anteriores de los colonizadores, sus diversos orígenes y bagajes culturales, su caudal y sus cuotas de poder, sus recursos, metas y expectativas. Por otra parte, las condiciones allí serían distintas, entre otras razones porque podían aprovechar la fertilidad de suelos recién deforestados, libres -además- de plagas y enfermedades específicas del café. En los agroecosistemas cafetaleros cuya artificialización databa ya de varias décadas empezaban a desvanecerse dichas ventajas iniciales, y algunos caficultores enfrentaban ya problemas que luego habrían de aquejar a muchos otros productores. Así, como veremos en la próxima sección, el interés por explorar alternativas tecnológicas llegaría a constituirse en una necesidad vital.

4 *En Busca de una Caficultura Moderna: 1900-1945*

Entre finales del siglo XIX y las primeras décadas del XX, algunas de las zonas cafetaleras más antiguas del istmo comenzaron a evidenciar ciertos problemas asociados al envejecimiento de las plantaciones, la reducción de la fertilidad del suelo, y en general una baja en los rendimientos por área. Esto fue especialmente notorio en Costa Rica, donde algunos cafetales de la zona cafetalera central se había establecido hacía sesenta u ochenta años. Pero también comenzó a observarse, algún tiempo después, en ciertas fincas guatemaltecas y salvadoreñas, cuyos propietarios buscaban formas de refertilizar aquellas tierras que denotaban el cansancio de un cultivo prolongado sin mayor restitución de nutrientes.

4.1 *Límites y exploraciones tecnológicas*

Como se desprende del párrafo anterior, en los albores del nuevo siglo comenzaba a mostrar sus flaquezas un modelo que se había basado por demasiado tiempo en el aprovechamiento de las excepcionales condiciones de fertilidad de las volcánicas tierras del Pacífico centroamericano, con una muy limitada restitución de nutrientes y con prácticas que no siempre favorecían la conservación del propio humus ni de otras condiciones agroecológicas propicias para asegurar la perdurabilidad de los cafetales.

Claro está que aún cabía la posibilidad de establecer fincas nuevas en tierras vírgenes, como efectivamente ocurrió, pero por lo general las antiguas fincas no fueron abandonadas, como solía hacerse por ejemplo en Brasil. Por el contrario, un creciente número de caficultores centroamericanos aplicaba abonos de origen orgánico, ya fuesen locales (como la gallinaza) o importados (v.g. el guano de Perú), y fertilizantes minerales como el nitrato, fosfato y potasio. Por su costo y por las dificultades de transporte, su uso estuvo inicialmente limitado a unidades productivas relativamente grandes y bien ubicadas, especialmente cerca de las vías férreas que comenzaban a facilitar no sólo la exportación del café sino también la llegada de insumos. Claramente, los fertilizantes se constituían por aquel entonces en un factor adicional de diferenciación tecnológica y socioeconómica.

Al mismo tiempo, se ensayaron otras medidas tendentes a modernizar las caficulturas del istmo:¹³

- Se promovió la adopción de la sombra regulada, en contraposición tanto al cultivo a plena exposición, que en las condiciones climáticas del Pacífico centroamericano se consideró inadecuado, como al dosel permanente que perjudicaba notablemente la producción.
- Se introdujeron y evaluaron nuevas especies de árboles de sombra, especialmente aquéllas de crecimiento rápido que permitiesen regular la irradiación solar durante el año, y preferiblemente leguminosas por su ya conocido efecto en la fijación de nitrógeno en el suelo.
- Fueron propuestos y ensayados varios cambios en la densidad y disposición de los cafetales, desde variantes en el espacio entre cafetos o entre hileras hasta la introducción del “quinto salvadoreño”, equidistante de cuatro cafetos anteriores, con lo cual se densificaba la plantación. El número de plantas por unidad de superficie variaba de una finca a otra, pero en promedio los cafetales salvadoreños eran más densos, con casi 1200 cafetos por manzana hacia la década de 1930. En Costa Rica el promedio era de 1000 a 1100 cafetos, mientras que en Guatemala era mucho más bajo, alrededor de 640 por manzana.¹⁴ En Nicaragua, según observaciones de la época, algunos finqueros plantaban tres cafetos por hoyo, a la usanza brasilera, mientras que en ciertas zonas de frontera agrícola había densidades relativamente bajas. En Honduras la escasa información disponible sugiere una caficultura muy extensiva.
- Especialmente en las fincas que aplicaban fertilizantes, la frecuente limpieza de los cafetales se convertía en un prurito, para evitar la competencia de malezas por los nutrientes. En general, prevalecía el

13 Para este punto, como para otros relativos a las tecnologías de la primera mitad del siglo XIX, lo afirmado se apoya frecuentemente en las obras ya citadas de Alvarado, Naranjo, y en Cardoso y Pérez, *Centroamérica...*, como también en las observaciones sistemáticas del enviado de la Federación de Cafeteros de Colombia, Juan Pablo Duque, “Costa Rica, Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Informe del Jefe del Departamento Técnico sobre su viaje de estudio a algunos países cafeteros de la América Central”, en *Revista Cafetera de Colombia*, Vol. VII, Núm. 102, p. 2295-2460. Para mayores detalles y referencias bibliográficas precisas sobre aspectos o casos específicos, puede consultarse el trabajo de Samper, “Café, trabajo y sociedad”, en la ya citada *Historia General de Centroamérica*, tomo IV.

14 Juan Antonio Alvarado, *Tratado de caficultura práctica* (Guatemala, Tipografía Nacional, 1936) tomo II, p. 568.

concepto de que el suelo debía mantenerse tan limpio como fuese posible, para favorecer el crecimiento y fructificación del arbusto arábigo. En las principales regiones cafetaleras del istmo, las labores de deshierba eran las que absorbían los mayores contingentes laborales en la atención de los cafetales durante el año. De manera excepcional hubo algunos intentos de aplicar tracción animal, y luego fuerza motriz, especialmente allí donde la plantación era menos densa, permitiendo el paso del arado. En ciertas fincas guatemaltecas y nicaragüenses se ensayó la labranza mecanizada entre hileras, para reducir los requerimientos de mano de obra. Sin embargo, la limpieza fue usualmente una labor manual, con anchas palas, con machetes, u ocasionalmente con azadones.

- Con la modernización gradual de los cafetales, el sistema de cultivo tendía hacia una especialización monocultivista, eliminándose los frutales, tubérculos y otros cultivos intercalados. Únicamente se mantuvieron, en algunas regiones cafetaleras, las hileras de musáceas, que si bien competían por nutrientes, cumplían funciones de sombra temporal, de fácil manejo, y generaban un producto adicional. Con la menor diversidad de plantas podían uniformarse más las labores de atención al cafetal, y en el corto plazo se lograba usualmente una mayor producción de café que en los cafetales policultivistas. Como contrapartida, los productores sacrificaban otros cultivos intercalados, especialmente los alimenticios, a cambio de una mayor producción mercantil. Desde un punto de vista agroecológico, reduciendo al mínimo la variedad de especies vegetales en el cafetal también eliminaban -sin percatarse de ello, al menos inmediatamente- los efectos positivos de la diversidad de plantas hospederas en el control biológico de plagas y enfermedades.
- Aunque en muchas zonas se mantuvo el café "criollo" (var. *typica*), se trajeron o difundieron nuevos cultivares, algunos provenientes de diversas regiones cafetaleras del mundo y otros originados localmente por mutaciones. Se trataba principalmente de cafetos de porte alto, como el Borbón y el Maragogipe, pero también alguna variedad de porte bajo, concretamente la denominada San Ramón, que se encontró en zonas altas de Costa Rica, a las cuales estaba especialmente adaptada. Igualmente surgieron cruces espontáneos entre *Typica* y Borbón, que dieron origen a nuevas variedades híbridas de porte alto, las cuales tuvieron alguna aceptación especialmente en El Salvador y en Costa Rica.

- En las fincas de algunos caficultores se experimentó con novedosos sistemas de poda del cafeto, y en las revistas agrícolas de la época se debatieron sus méritos y deméritos. Como es sabido, la floración y fructificación del café ocurren principalmente en "maderas nuevas", por lo que el objetivo de las podas era incrementar la proporción de éstas para mejorar los rendimientos por cafeto. Complementariamente, una poda sistemática también podía reducir el diámetro de la copa de los cafetos, permitiendo una mayor densidad de siembra. Los observadores técnicos foráneos consideraban adecuada la poda en El Salvador, y excesiva (esto es, perjudicial a la producción) tal como se practicaba frecuentemente en Costa Rica. Para fincas guatemaltecas, los visitantes reportaron la costumbre de efectuar una sola poda, tras la cual se permitía el libre crecimiento de la planta. Tanto en Guatemala como en El Salvador se recurría algunas veces al "agobio", esto es, el procedimiento de doblar las ramas hacia el suelo, amarrándolas a estacas, a fin de estimular el crecimiento de ramas laterales. En zonas cafetaleras marginales, como las hondureñas, y en algunas de colonización muy reciente, como las del norte de Nicaragua, el crecimiento era totalmente libre.
- Siguiendo el ejemplo de la caficultura salvadoreña, descrita por viajeros como una suerte de "jardinería", se difundieron prácticas para el control de la erosión, tales como la siembra a contorno, vale decir, en curvas de nivel que redujeran la pérdida de tierra superficial durante los fuertes aguaceros de la prolongada estación lluviosa. Análoga función cumplía, en laderas pronunciadas o allí donde comenzaba a notarse erosión, la siembra de "izote" o "itabo" (nombres vernáculos de la especie *Yucca elephantipes*). El "gaveteo" o excavación de hoyos en los lugares por donde corría mayor cantidad de agua llovida se practicaba para interrumpir el flujo de ésta, recuperando allí las capas superiores del suelo y la hojarasca, arrastradas ambas por la esorrentía, para su posterior reposición al cafetal. En Costa Rica se hacían "gavetas", pero no era generalizado el empleo del itabo. En Nicaragua, éste último se sembraba en cercas, pero no se utilizaba sistemáticamente para controlar la erosión. Para Guatemala, los observadores de la época reportan pocas prácticas antierosivas.

4.2 *La adopción desigual de innovaciones*

La difusión de esas y otras innovaciones, asociadas entonces al concepto de "caficultura moderna", fue sumamente dispar entre regiones agroecológicamente diferenciadas, como también entre zonas de asentamiento más antiguo o reciente, y entre tipos de unidades productivas.

En El Salvador, donde había una relativa abundancia de mano de obra asalariada, se invertía una considerable cantidad de ésta en la esmerada atención de los cafetales. El objetivo parece haber sido la obtención del mayor rendimiento posible de la tierra, ciertamente un factor productivo comparativamente escaso en aquel país.

En Guatemala, por el contrario, la caficultura era relativamente extensiva, con densidades de siembra e insumos laborales por unidad de superficie muy por debajo de los niveles salvadoreños. La menor intensidad de la caficultura guatemalteca reflejaba en parte la abundancia relativa de la tierra apta para café, así como la facilidad de su apropiación usualmente latifundiaria. También estaba muy relacionada con los sistemas de reclutamiento laboral, que permitían una muy baja remuneración a los trabajadores indígenas "habilitados" mediante anticipos monetarios, y frecuentemente bajo coerción directa o amenaza de coacción todavía en las primeras décadas del siglo XX. Un lúcido observador de la época explicitaba la estrecha relación entre tecnología y formas de movilización laboral, al afirmar que un mejoramiento en los sistemas de cultivo permitiría ofrecer un salario dos o tres veces superior, atrayendo suficientes trabajadores "sin necesidad de habilitaciones y habilitados".¹⁵

Hacia el sur del istmo, había marcadas variaciones subregionales en la intensidad de la caficultura y la adopción de prácticas "modernas": La más antigua zona cafetalera de Nicaragua, en el suroeste de ese país, presentaba condiciones agroecológicas bien distintas a las zonas cafetaleras más recientes del norte, tanto en lo relativo a la edad y estado de los cafetales como a la fertilidad natural de la tierra. En Costa Rica, la tierra idónea para el cultivo del café era ya escasa dentro de la llamada Meseta Central, los cafetales habían envejecido y un creciente número de caficultores hacía esfuerzos denodados por mejorar los rendimientos, estancados o declinantes; por otra parte, se habían incorporado recientemente tierras feraces en ambos extremos de la depresión tectónica, y la colonización centrífuga se proyectaba hacia otros valles y laderas, en zonas a menudo boscosas y potencialmente cafetaleras.

15 Alvarado, *Op. cit.*, tomo II, p. 472.

A lo largo del Pacífico centroamericano, se establecían marcados contrastes entre regiones en las cuales se aprovechaba todavía una suerte de "renta forestal", otras en las cuales se invertían considerables cantidades de trabajo e insumos para mantener buenos rendimientos, y ciertos lugares en que había claras señales de un agotamiento que no era sólo del suelo, sino de un modelo tecnológico determinado.

Las variaciones técnicas y agroecológicas anotadas se traducían en rendimientos promedio (por hectárea) muy dispares: máximos en El Salvador, cuyos cafetales recibían una atención esmerada; intermedios en Costa Rica, donde el caficultor era menos prolijo y había plantaciones bastante antiguas; y especialmente bajos en Guatemala, donde el uso de la tierra era mucho más extensivo.

Por otra parte, el mejoramiento tecnológico estaba limitado a algunas fincas, medianas o grandes, sin que alcanzara a generalizarse, y a menudo sirvió más para compensar la disminución de rendimientos por factores como los antedichos, que para lograr un incremento muy sustancial de la producción por café o por manzana. Dentro de una misma región, podían encontrarse unidades productivas tecnológicamente "tradicionales" y "modernas", y fincas de una misma extensión podían lograr rendimientos bien diversos. Sin embargo, en forma agregada, los datos disponibles por categoría de tamaño sugieren que las de mediana extensión y algunas relativamente grandes, pero no las mayores, solían obtener más café por unidad de superficie.¹⁶

En el istmo como un todo coexistían varios tipos de relación entre los sistemas de cultivo y su medio natural, situados entre dos extremos de una suerte de continuum de agroecosistemas: los de frontera agrícola, donde se aprovechaba la fertilidad y otras condiciones propias de las tierras tropicales recién deforestadas; y en el otro extremo, las zonas cafetaleras más antiguas y especializadas, en que la modernización tecnológica intentaba compensar el deterioro en las condiciones naturales del suelo, el envejecimiento de los cafetales, la mayor incidencia de plagas y enfermedades, y la declinación de los rendimientos.

El abandono del cultivo a pleno sol puede interpretarse como una adaptación de la caficultura a las condiciones climáticas del Pacífico

16 Para principios del siglo, la información disponible es apreciativa y casuística, pero la diferenciación tecnológica apuntada se refleja en los primeros censos cafetaleros, como el costarricense de 1935 o el salvadoreño de 1939, al igual que en los primeros censos agropecuarios modernos, realizados para esos y otros países a mediados del siglo XX.

centroamericano; también fue una opción por la perdurabilidad de los cafetales, esto es, por la permanencia de este cultivo arbóreo en las tierras dedicadas a él en cada finca o lugar. Por diversas vías tecnológicas, ajustadas a las condiciones del medio tanto geográfico como social, se trataba de resolver la perenne tensión entre equilibrio agroecológico y maximización de los rendimientos.

4.3 Modernización del beneficiado

Los cambios en la fase agroindustrial son menos conocidos, pero es claro que hubo esfuerzos de modernización y que también fueron notables las diferencias entre países.¹⁷ Las misiones de estudio enviadas por asociaciones cafetaleras desde Colombia y otros países coincidían al afirmar que el beneficiado (principalmente por vía húmeda) se realizaba de la mejor manera en Costa Rica, donde tendía a ser cada vez más centralizado. Si antes el trabajo había sido esencialmente manual y el café se secaba al sol, la introducción de máquinas secadoras permitió acelerar la segunda fase del secado, y diversos procedimientos mecanizados facilitaron la selección del grano. La atención a la calidad del producto fue una preocupación bastante generalizada entre los beneficiadores, que exportaban el café bajo su propia marca a los exigentes mercados europeos, y usualmente recibían por él un buen precio. Sin embargo, una reciente investigación, todavía inconclusa, muestra que si bien predominaba en ese país la vía húmeda, el procesamiento se realizaba de modos que variaban desde el artesanal hasta el agroindustrial. Pero además, en zonas cafetaleras costarricenses mal comunicadas y con escasez de agua durante la cosecha, el beneficiado seco continuó más allá de mediados del siglo XX.¹⁸

17 Aquí, omitiendo detalles y fuentes, se resumen algunas conclusiones derivadas de la información presentada en el cuarto capítulo del libro de este autor, *Producción cafetalera y poder político en Centroamérica* (San José: EDUCA, 1998), complementadas por una revisión posterior de publicaciones cafetaleras de los países centroamericanos.

18 Nos referimos aquí a los resultados preliminares, todavía inéditos, de una pesquisa en la cual participa el autor junto con otros colegas, en el proyecto Historia Contemporánea de las Unidades Productivas Cafetaleras, en la Universidad Nacional, Costa Rica. Sobre la persistencia del beneficiado seco, Cf. Alvaro Jiménez, "Algunas ideas sobre comercialización de cafés naturales y el serio problema del merodeo" (San José: Oficina del Café, 1978).

En Guatemala también se procesaba el café principalmente por vía húmeda, y su calidad era reconocida internacionalmente. Sin embargo, la tendencia a mantener un beneficio por finca limitaba la tecnificación del proceso y el aprovechamiento de las economías de escala, bastante pronunciadas en esta fase de la actividad cafetalera. Algunos de los beneficios guatemaltecos eran relativamente pequeños y tecnológicamente simples, al punto de que a los ojos de un observador foráneo podían asemejarse más a trapiches que a plantas agroindustriales.

En El Salvador, todavía hacia mediados del siglo hasta un 40% del café se beneficiaba por vía seca, principalmente en aquellas zonas donde escaseaba el agua. No obstante, la escala de algunas empresas agroindustriales permitió la mecanización parcial de labores como el pilado en seco. De todas formas, llamaba la atención a los visitantes sudamericanos que en ese país no se beneficiara el café con el mismo cuidado que se daba a los cafetales.

En Nicaragua, hacia 1930, las dos terceras partes del café se exportaban "sin lavar", esto es, descascarado en seco. También en ese país había una diferenciación regional entre zonas como Matagalpa, donde la mayor parte del café se procesaba por vía húmeda, y otras en las cuales se procesaba principalmente por vía seca. Estas últimas se encontraban sobre todo en el Pacífico centro-sur, donde el agua era más escasa. El sistema de cosecha por "ordeño" o recolección simultánea de todas las cerezas tampoco favorecía la adopción de un procedimiento que, además de abundante agua, requería de una cuidadosa selección del fruto maduro. Solamente algunas grandes empresas podían tener tanques o pozos para realizar el proceso por vía húmeda en zonas donde escaseaba el líquido en tiempo de cosecha.

Sobre el procesamiento del café en Honduras, durante la primera mitad de este siglo, es poco lo que podemos decir, salvo que el escaso desarrollo del cultivo mismo, la dispersión geográfica de las fincas y las persistentes dificultades de transporte impedían la centralización y mejoramiento del beneficiado, que por lo general era bastante rústico.

De todo lo anterior se desprende que la caficultura centroamericana -con variantes ya anotadas- había crecido extensivamente en la fase agrícola, principalmente mediante la ocupación de nuevas tierras y una inversión proporcional de cantidades adicionales de fuerza de trabajo. Pese a los esfuerzos de modernización, ese modelo empezaba a desgastarse, evidenciando sus limitaciones al tiempo que los suelos y los cafetales envejecían y se acentuaban los problemas de control de plagas y enfermedades. Ello, en conjunto con la decreciente disponibilidad de tierras nuevas

para el café, colocaba un signo de interrogación sobre la viabilidad futura de un crecimiento meramente extensivo en las principales regiones cafetaleras del Pacífico centroamericano. Ciertamente había algunas zonas potencialmente cafetaleras que habrían de habilitarse mediante vías de comunicación, especialmente en Honduras pero también en frentes de colonización en otras zonas montañosas del istmo. Como veremos en el siguiente apartado, el porvenir de las caficulturas centroamericanas sería igualmente diverso.

5 Experiencias de Intensificación Tecnológica: 1945-1989

Durante los últimos cincuenta años, las caficulturas del istmo han conocido avances técnicos muy sustanciales, aunque también bastante dispares en cuanto a su difusión y adopción. En esta sección revisaremos las principales transformaciones tecnológicas de la posguerra, enfatizando el momento de su introducción y difusión inicial a partir de los años cincuenta, con algún seguimiento a dichos procesos en décadas subsiguientes.

5.1 Mercado internacional, investigación agrícola y difusión de innovaciones

Una vez concluido el conflicto bélico, durante el cual se habían cerrado para Centroamérica sus principales mercados en Europa continental, se produjo un alza fuerte y sostenida en la demanda mundial y las cotizaciones del café. Durante los primeros años de posguerra, el crecimiento de la producción tendía a quedarse rezagado respecto de la demanda, con lo cual se generó un interés tanto de los países consumidores como de los productores por incrementar las cosechas e impulsar el mejoramiento tecnológico.

En tal contexto, comenzó a sistematizarse la búsqueda y evaluación de cultivares en Centroamérica, como en otros países productores de café. Al mismo tiempo, se ensayaban prácticas culturales más intensivas, con miras a incrementar los rendimientos.

En ese esfuerzo participaron entidades públicas, asociaciones privadas y caficultores individuales con vocación innovadora en cada país. Entre los organismos nacionales dedicados a la investigación cafetalera, cabe

mencionar para la fase inicial a la Estación Experimental del Café, en Guatemala; la Sección Técnica de la Oficina del Café, en Costa Rica; y el Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Posteriormente se desarrollarían esfuerzos análogos en Nicaragua, y más recientemente en Honduras. Asimismo en los entes ministeriales del sector y en Escuelas o Facultades de Agronomía se realizarían diagnósticos y propuestas que procuraban mejorar los sistemas de producción cafetaleros.

También jugaron un papel muy significativo algunos organismos de cooperación técnica multilateral -concretamente el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA)- o bilateral -caso de la División de Agricultura de la agencia norteamericana Foreign Operations Administration (FOA), con sus respectivas representaciones en cada país. En las últimas décadas, se han establecido relaciones de colaboración con organismos de investigación europeos interesados por la agricultura tropical.

El establecimiento del sistema de cuotas del Convenio Internacional del Café, desde principios de los años sesenta hasta fines de los ochenta, permitió reducir las fluctuaciones de precios y mantenerlos a niveles relativamente atractivos para los productores, si bien condujo finalmente a una fuerte acumulación mundial de existencias, al desarrollo de mercados extra-cuotas con precios mucho más bajos, y desembocó finalmente en la suspensión indefinida de las cláusulas económicas del convenio. Durante su vigencia, el acuerdo entre países productores y consumidores fortaleció el papel de las entidades que, con mayor o menor participación de los sectores público y privado, cumplían funciones reguladoras en cada país e impulsaban, asimismo, el mejoramiento del cultivo, procesamiento, transporte y comercialización del café.

5.2 La exploración de alternativas tecnológicas

Una parte de la investigación agronómica del café se realizó directamente en fincas privadas, ya fuese por iniciativa de los propios caficultores, quienes efectuaban sus propias observaciones y experimentaciones, o mediante la cesión temporal de parcelas para estudios científicos y la adopción experimental de prácticas culturales, materiales genéticos e insumos bajo la supervisión de investigadores. En lo relativo al procesamiento, muchas de las innovaciones -ya fuesen generadas localmente o importadas- se realizaron directamente en beneficios privados.

Las frecuentes visitas recíprocas de delegaciones o cafetaleros individuales, entre los países centromericanos, facilitaron la observación directa

de los avances y problemas técnicos, así como el intercambio y difusión posterior de información sobre mejoras en los sistemas de cultivo y beneficiado.

La circulación de nuevos conocimientos tecnológicos se dio por muy diversos medios. Algunos fueron dirigidos desde los entes oficiales, asociaciones gremiales o empresas comercializadoras hacia los caficultores: publicaciones divulgativas, charlas y programas radiales; servicios de extensión cafetera y visitas técnicas; agresivas campañas por parte de los distribuidores de agroquímicos, etc. Las innovaciones también se difundieron por otras vías: el ejemplo del vecino, cuyo éxito invitaba a emularlo; las informaciones transmitidas oralmente entre parientes o conocidos; y la disponibilidad local de ciertos insumos o de almácigos de nuevas variedades, para mencionar sólo tres mecanismos informales.

En todos los países había -en proporciones sumamente variables- una combinación de fincas grandes, con centenares de hectáreas en cafetales, otras de extensión intermedia y un número significativo de unidades productivas familiares y subfamiliares. La posibilidad real de acceder a nuevas opciones tecnológicas fue distinta para cada tipo de finca, pero también varió notoriamente de un país a otro, e incluso entre regiones de un mismo país.

5.3 Pluralidad de vías para la intensificación

Después de mediados del siglo XX, al difundirse nuevos cultivares, insumos y técnicas, fue posible intensificar notablemente la producción cafetalera. Sin embargo, las condiciones locales no siempre fueron propicias para ello, de modo que en ciertos lugares y tipos de fincas se conservaron en mayor o menor grado modos más o menos tradicionales de cultivar café. Cuando hubo intensificación tecnológica, ésta se dio a ritmos variables, mediante combinaciones y adaptaciones mucho más creativas de lo que podría suponerse a partir de los manuales y recomendaciones técnicas oficiales.

No sólo hubo distintas modalidades de tecnificación en décadas recientes, sino que paralelamente se incorporaron nuevas áreas a la producción cafetalera, en respuesta tanto a la creciente demanda y los precios favorables como a dinámicas internas que favorecieron la ocupación de nuevos espacios potencialmente cafetaleros.

En términos de área en producción, la caficultura centroamericana ocupaba cerca de cuatrocientas mil hectáreas a principios de la década de

1950, a lo cual habría que añadir un porcentaje de plantaciones nuevas (desde cerca de 13% hasta 28%, según el país).¹⁹ Guatemala seguía teniendo la mayor proporción del área cafetalera en el istmo, alrededor de un tercio, y El Salvador la cuarta parte del área total. En Nicaragua se localizaba un 17% de los cafetales centroamericanos, y el área cafetalera había crecido rápidamente en Honduras, donde era ya muy similar al área dedicada a café en Costa Rica (12.5%). Durante los años sesenta y setenta, el área cafetalera total aumentó considerablemente en el istmo, pero especialmente en Honduras y Guatemala, que incrementaron su participación relativa.²⁰

En cada país, región y tipo de finca, se ensayaron diversos modos de incrementar la producción, en parte por la disponibilidad relativa y el costo de los factores de producción, pero también por la mayor o menor adecuación de distintas propuestas tecnológicas a las condiciones agroecológicas y socioeconómicas locales.

Los rendimientos promedio obtenidos por país brindan alguna indicación evolutiva acerca del grado de tecnificación del respectivo sector cafetalero, como un todo, aunque evidentemente hay una enorme variabilidad en la producción por hectárea de un tipo de finca a otro.

En los años cincuenta, los rendimientos por hectárea eran especialmente elevados en El Salvador, donde entre 1950 y 1954 promediaron los 610 kg de café oro por hectárea,²¹ y seguirían aumentando gracias a una intensificación que era tanto laboral como tecnológica. Un riguroso estudio comparado que realizaron la FAO y CEPAL en esa década concluyó que:

“La industria cafetalera de El Salvador se caracteriza por elevados insumos de trabajo humano por hectárea, que, al combinarse con el empleo

19 En 1950, las fincas que producían más de 200 quintales de café cereza en Guatemala incluían, en promedio, 13.5% de área no cosechada. En ese mismo año, las fincas cafetaleras salvadoreñas tenían un 13.9% de cafetales menores de cinco años, de los cuales una parte menor podría estar en producción; en cambio, dentro de la misma categoría se encontraba alrededor de 28.4% del área en fincas cafetaleras hondureñas en 1952. Datos de los censos agropecuarios respectivos.

20 Guatemala pasó a ocupar 37.4% del área cafetalera total en Centroamérica, y Honduras un 15.3%. Entre principios y mediados de los años setenta, El Salvador abarcaba un 22.3%, mientras Costa Rica y Nicaragua mantenían proporciones muy similares (12.2% y 12.7%). Según Censos Agropecuarios y USDA, *Coffee production and trade in Latin America* (USDA, 1979), p. 38-42, 46-53, 57-61, 65-68.

21 Datos de CEPAL, citados por Alfredo Guerra-Borges, “El desarrollo económico”, en *Historia General de Centroamérica*, tomo V (Madrid: Siruelas, 1993), p. 23.

de fertilizantes y otros materiales, se tradujeron en el año cafetalero 1954/55 en un rendimiento medio de 660 kilogramos por hectárea, uno de los más altos del mundo. Esta modalidad de la producción resulta de la abundancia de mano de obra y de la relativa escasez de suelos óptimos para este cultivo".²²

Para entonces, en Costa Rica los rendimientos cafetaleros eran solamente de unos 430 kg de café oro por hectárea, y en Guatemala no sobrepasaban los 395 kg oro.²³ Para Honduras y Nicaragua no contamos con datos estrictamente comparables para los años cincuenta, pero en ambos casos los rendimientos eran relativamente bajos, sobre todo en comparación con los salvadoreños.

Durante las dos décadas siguientes, la producción por hectárea siguió incrementándose en El Salvador, hasta promediar un millar de kilogramos oro por hectárea en los años setenta.²⁴ Los rendimientos por área también crecieron rápidamente en Costa Rica, duplicándose entre 1955 y 1973, con lo cual se aproximaron a los 900 kilogramos de café oro por hectárea.²⁵ Al finalizar los años setenta, los rendimientos costarricenses habían ascendido hasta 1279 kg oro por hectárea cosechada, superando a los salvadoreños que se habían estancado en unos 1020 kg por hectárea.

Durante ese cuarto de siglo, el incremento de los rendimientos guatemaltecos, nicaragüenses y hondureños también había sido apreciable, pero se mantenían muy por debajo de los alcanzados -no por casualidad- en los dos países más pequeños del istmo, donde las tierras nuevas aptas para café se tornaban cada vez más escasas.²⁶

5.4 Estrategias productivas

Cuando la mano de obra y la tierra se han encarecido, la tendencia ha sido a incrementar fuertemente la densidad de siembra, reducir o eliminar la sombra, e incorporar abundantes insumos agroquímicos, especialmente

22 CEPAL y FAO, *El café en América Latina. Problemas de la productividad y perspectivas*. I. Colombia y El Salvador (México: CEPAL y FAO, 1958), p. 111.

23 FAO, *Anuario de Producción*, citado por CEPAL y FAO, *El café...*, nota 2, p. 111.

24 Billan, Bilan et perspectives..., p. 179.

25 Justo Aguilar et. al., *El desarrollo tecnológico del café en Costa Rica y las políticas científico tecnológicas* (San José: CONICIT, 1982).

26 En Guatemala eran de 667 kg/ha, en Nicaragua 623, y en Honduras 588 kg/ha. Anuario de FAO, cuadro 78, 1989.

para el control de malezas pero también de plagas y enfermedades. Un creciente número de caficultores tecnificados logró elevados rendimientos por hectárea y buena productividad física del trabajo. El prototipo de la intensificación tecnológica en Centroamérica ha sido la zona cafetalera central de Costa Rica, pero también se tecnificaron fincas capitalizadas en otras regiones del Pacífico centroamericano, incluyendo el occidente salvadoreño y el Pacífico sur de Nicaragua.

Por otra parte, en diversas partes del istmo hay caficultores naturales, especialmente indígenas pero también algunos campesinos mestizos, que todavía cosechan café en huertos policultivistas, sin aplicar mayores insumos, o recolectan el fruto de cafetos plantados en zonas boscosas. Otros caficultores procuran incrementar su producción sin recurrir a insumos agroquímicos, y conservando usualmente un alto grado de diversificación productiva. Hoy en día, por lo general bajo formas asociativas, ciertos grupos de caficultores han optado por la certificación como productores "orgánicos", a fin de obtener el sobreprecio que ofrecen determinadas cadenas de comercialización alternativas en Europa y Norteamérica, principalmente.

Entre los dos extremos en cuanto a la aplicación de agroquímicos, hay toda una gama de estrategias para asegurar la viabilidad económica de la producción cafetalera. De allí que encontremos gradaciones en la densidad tanto de los cafetos como de la sombra, niveles muy distintos de aplicación de fertilizantes y otros insumos químicos, como también distintas prácticas culturales (v.g. poda uniforme o selectiva).

En los párrafos siguientes daremos un vistazo general a las principales innovaciones tecnológicas, para luego referirnos a la difusión geográfica y socialmente dispar de algunas de ellas.

5.5 Innovaciones tecnológicas

A partir de mediados del siglo XX, fueron reuniéndose los ingredientes tecnológicos que posibilitaron una intensificación sin precedentes de la caficultura, análoga a la que se dio en algunos otros rubros bajo la bandera de la Revolución Verde. Uno esencial fue el descubrimiento local o importación -especialmente desde Brasil- de nuevos materiales genéticos de porte bajo y muy buen rendimiento en respuesta a la fertilización. La difusión de estos cultivares profundizó el proceso de renovación genética y modernización tecnológica que se había iniciado en décadas anteriores, con variedades de porte alto, que si bien ofrecían algunas ventajas no habían revolucionado los sistemas de cultivo.

Con los nuevos cultivares de menor tamaño y la aplicación de dosis mucho mayores de agroquímicos, las densidades de siembra se cuadruplicaron o incluso quintuplicaron en fincas que adoptaron el "paquete tecnológico" intensivo. También se generalizó el control químico de malezas, plagas y enfermedades, en el contexto de una agresiva expansión de la industria agroquímica europea y norteamericana en la posguerra. La reducción de la sombra y en algunas zonas su eliminación total, junto con la poda sistemática por hileras o lotes, favoreció el incremento de la fructificación a cambio de una menor longevidad productiva de los cafetales. Los rendimientos por hectárea pasaron de 10 ó -en condiciones óptimas- 20 fanegas de cereza por hectárea, con su equivalente aproximado en quintales oro ya procesados, hasta 50, 100 o incluso más en años excepcionalmente buenos. Al mismo tiempo, si el cafetal con sombra perduraba 30, 40 ó más años, el de pleno sol con producción intensiva tendría que renovarse con mayor frecuencia.

Seguidamente nos referiremos brevemente a cada una de las principales innovaciones en la caficultura centroamericana desde mediados de siglo, enfatizando su introducción y difusión inicial.

5.6 *Nuevas variedades*

Algunos cultivares surgieron espontáneamente por mutación local, siendo identificados principalmente en Costa Rica y El Salvador, y difundidos posteriormente en el istmo. Hacia mediados del siglo XX eran importantes los siguientes, cuyas características se explican en el capítulo 12: "Nacional Salvadoreño" e "Híbrido Tico"; "Villalobos"; "San Ramón"; "Pacas" y "La Luisa" o "Villa Sarchí".

Estas y otras variedades, intercambiadas entre países y entre zonas cafetaleras de un mismo país, se introdujeron a los cafetales ya existentes mediante sustitución de árboles viejos o enfermos, como también por vía de la "retupición". El resultado fue una combinación sumamente heterogénea de cultivares, de modo que hacia 1955 podía afirmarse para El Salvador -y algo análogo podría afirmarse entonces para otras regiones cafetaleras- que "es difícil encontrar un lote de alguna extensión que sea una población pura de Borbones, de Arábigos Típicos, o de Nacional de El Salvador":²⁷

27 J. Guiscafré-Arriaga, Jorge Cordón y Salvador Castellanos, "Siembra de cafeto al sol en barreras auto-sombreadas", en *El Café de El Salvador*, vol. XXV, núm. 280-281, marzo-abril de 1955, p. 127-141.

Desde 1945, en la Estación Experimental del Café, en Guatemala, se había establecido una pequeña colección con cultivares introducidos no sólo de otras partes del istmo sino también de las Antillas. En ese año se realizaron ahí algunas siembras experimentales a pleno sol, que de alguna manera reeditaban experiencias de un siglo atrás, y en 1949 se efectuaron algunos cruces intervarietales, v.g. entre "Maragogipe" y "San Ramón".²⁸

En la estación experimental del Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, en Santa Tecla, se creó también un banco de material genético, no sólo de *Coffea arabica*, sino también de *C. canephora*, *C. congensis* y *C. libérica*.

La mayor colección de germoplasma cafetalero se estableció en el Centro de Investigación y Enseñanza del IICA, que funcionó en Turrialba, Costa Rica, desde el segundo lustro de los años cuarenta (ver capítulo 11). A inicios del decenio siguiente, se introdujeron allí las variedades "Caturra" y "Mundo Novo", ambas provenientes del Brasil. Diez años después, la colección contabilizaba más de 700 introducciones y 179 híbridos interespecíficos e intervarietales.²⁹

Ya a principios de los años sesenta, el Caturra se difundía rápidamente en fincas costarricenses, con muy buenos resultados iniciales, lo cual incentivó un incremento acelerado del área con este cultivar (ver capítulo 12). Las variedades de porte bajo se extendieron aceleradamente también en El Salvador, pero de modo más lento en los restantes países centroamericanos.

5.7 La interminable polémica sobre sol y sombra

Si entre fines del siglo XIX y mediados del XX se había generalizado el uso de la sombra en los cafetales centroamericanos, la necesidad de incrementar los rendimientos y las características de las nuevas variedades de porte bajo llevaron a que se experimentara nuevamente con sistemas de plena exposición solar. Inevitablemente, resurgieron los debates -todavía inconclusos- sobre los méritos y deméritos del sombrío.

28 Carlos E. Fernández, "Información sobre los trabajos en las instituciones de investigación. Chocolate, Guatemala", en *Café. Servicio Técnico de Café y Cacao* (Turrialba, Costa Rica), vol. I, núm. 3, octubre-diciembre de 1959, p. 55-58.

29 "El Dr. Jorge León deja el Centro de Turrialba", en *Café*, vol. IV, núm. 13, abril-junio de 1962, pp. 57-58. Cf. también Víctor Pérez, *Treinta y dos años de investigación sistemática y transferencia tecnológica del cultivo de café en Costa Rica. 1950-1982* (San José: Oficina del Café, 1983).

Uno de los pocos asuntos sobre los cuales había consenso entre los investigadores, como también entre agricultores mejor informados o que habían efectuado observaciones comparadas, era que el exceso de sombra reducía la producción de café, y en cambio el "raleo" de la sombra podía incrementar esa producción. En Guatemala, donde el dosel formado por los árboles de sombra era especialmente denso, se indicaba a los finqueros que "la sombra debe ser lo más rala posible".³⁰ Recomendaciones similares solían hacerse a los caficultores del resto de la región.

Tanto la experiencia práctica de los caficultores como estudios experimentales sugerían la conveniencia de adecuar el sombrío a las condiciones climáticas locales, a la altura sobre el nivel del mar y a la disposición de los cafetales en las laderas, respecto del sol y los vientos. Asimismo, al variar la densidad de siembra con la introducción de variedades de porte bajo, fue modificándose también la de árboles de sombra.³¹

Desde los años cincuenta, se realizaron en diversas partes del istmo pruebas a pequeña escala con el cultivo a pleno sol, tanto en fincas privadas como en estaciones experimentales. Así, por ejemplo, en los primeros años de esa década se discutían los resultados iniciales de parcelas sin sombra en fincas del Departamento de San Marcos y en el centro de investigaciones cafeteras de Chicolá, en Guatemala.³²

A mediados de ese decenio, se daba a conocer en El Salvador un interesante sistema de plantación a pleno sol en barreras autosombreadas, en rotación con franjas de plantas leguminosas. El sistema había sido desarrollado poco antes en Guatemala por un programa cooperativo de la Misión Agrícola Norteamericana y el Instituto Agropecuario Nacional, y condujo a la realización de ensayos en fincas privadas y experimentales en El Salvador.³³

Experimentos realizados en el Centro del IICA en Turrialba, Costa Rica, a principios de los años cincuenta, demostraron que se podía incrementar en forma significativa los rendimientos cultivando a pleno sol, siempre

30 Arturo Parada Alcántara, "Observando el cultivo del café en El Salvador", en *Revista Cafetalera* (Guatemala), vol. I, núm. 2, 1956, p. 71-73.

31 Ya en los años sesenta, a observadores guatemaltecos les llamaba la atención que en Costa Rica "a mayor número de plantas por manzana, menor cantidad de sombra". J. Francisco Rubio, "Impresiones de Costa Rica (Un interesante viaje de don Arturo Falla)", en *Revista Cafetalera* núm. 43, marzo de 1965, p. 17-19.

32 "Café al sol", en *Revista Cafetalera*, 1956, p. 16-17.

33 Fernando Suárez de Castro y colaboradores, en *Café. Servicios Técnicos de Café y Cacao*, vol. III, núm. 10, julio-setiembre de 1961, p. 81-102.

y cuando se restituyese constantemente la fertilidad mediante abonamiento intensivo y se asegurase la provisión de humedad en caso necesario mediante riego. En sus comentarios al respecto, un técnico salvadoreño añadía que la eliminación de los árboles de sombra solamente sería viable en zonas donde no hubiese peligro de heladas. En ciertas zonas cafetaleras guatemaltecas, la preocupación por heladas era efectivamente un factor de riesgo a considerar.³⁴

Otras investigaciones realizadas en Costa Rica desde 1956 no fueron del todo concluyentes, pues si bien al eliminar sombra se registró un moderado incremento en la producción, también aumentó la incidencia de ciertas enfermedades como la chasparria (*Cercospora coffeicola*) y subieron los costos de control de malezas. Otro experimento en El Palmar, El Salvador, llevó a la conclusión de que el microclima de los cafetales era más moderado con sombra, pero la cosecha era superior a plena exposición solar.³⁵

El cultivo de café al sol era una práctica usual en Brazil y en ciertas regiones cafetaleras africanas o asiáticas, pero fue la más reciente experiencia hawaiana la que interesó sobremanera a técnicos y caficultores centroamericanos después de mediados de siglo. Tras una visita realizada por técnicos centroamericanos en 1957, se dio a conocer en todo el istmo ese exitoso modelo de intensificación tecnológica en respuesta al encarecimiento de la mano de obra en aquellas islas, de acuerdo con las condiciones agroecológicas que allí privaban. No obstante, los observadores centroamericanos hacían hincapié en las diferencias climáticas entre Hawaii y el istmo, sobre todo por la menor perpendicularidad de los rayos del sol en aquel archipiélago y la fuerte nubosidad que reducía considerablemente las horas de exposición.³⁶

5.8 Agroquímicos

Hacia mediados del siglo XX, la recuperación del mercado internacional del café estimuló la aplicación de mayores cantidades de nutrientes con el propósito de incrementar rendimientos y aprovechar los buenos

34 Parada, "Observando...", p. 71.

35 Pérez, *Treinta y dos años...*, p. 22.

36 Gabriel Montenegro y Jorge A. Cerdón, "Cultivos del café en Hawaii", en *Revista Cafetalera* (Guatemala), núm. 5, 1957, p. 9-22.

precios. En las zonas cafetaleras más antiguas venía practicándose la fertilización desde tiempo atrás, pero la cantidad de abonos -especialmente químicos- aumentó considerablemente a partir de los años cincuenta y sesenta. Allí donde la caficultura era más intensiva, los fertilizantes resultaban indispensables para mantener los rendimientos, pero también se recomendaban para intensificar la producción en zonas donde tradicionalmente había sido más extensiva. Aunque siguieron aplicándose abonos orgánicos como el "compost", la pulpa descompuesta del café y otros desechos vegetales, su importancia relativa disminuyó rápidamente. El costo decreciente de los agroquímicos y las campañas realizadas tanto por los servicios de extensión como por los representantes de las compañías fabricantes o distribuidoras condujeron incluso a la sobrefertilización. La tendencia a aplicar mayores cantidades de nutrientes químicos se vio reforzada por la introducción de nuevas variedades que al parecer respondían favorablemente a una mayor fertilización, y más aun por la mayor densidad de siembra.

En cuanto al control de malezas, todavía en los años cincuenta se hacía con procedimientos manuales, y se discutía sobre cuál herramienta era menos perjudicial para las raicillas superficiales del café. En Guatemala se usaba el azadón, pero en El Salvador y Costa Rica el machete. También se evaluaba entonces, en el Centro Nacional de Agronomía de El Salvador, el uso de coberturas muertas, tipo "mulch", para el control de malezas y para evitar la erosión.³⁷ Sin embargo, la necesidad de reducir costos laborales y la creciente oferta de herbicidas químicos condujo a una rápida adopción de los mismos. En Costa Rica, donde la mano de obra era especialmente cara en términos relativos, se reportaba un empleo generalizado de herbicidas ya a mediados de los años sesenta, pero este medio de control de plantas indeseables se difundiría asimismo en las demás zonas cafetaleras.

La incidencia de plagas y enfermedades fue incrementándose en el transcurso del siglo XX, y varias de ellas llegaron a afectar seriamente los rendimientos en zonas específicas. A mediados del siglo, entre las enfermedades más conocidas en Centroamérica cabe mencionar el "ojo de gallo" (*Mycena citricolor*), la "chasparría" (*Cercospora coffeicola*), y el "mal de hilachas" (*Pellicularia koleroga*). Para enfrentarlas, los entes públicos y privados del sector impulsaron programas para el control químico de

37 Cf., por ejemplo, Tomás Vilanova, "Uso y efectos del mulch en las plantaciones de café", en *El Café de El Salvador*, vol. XIX, núm. 220, agosto de 1949, p. 1713-1719.

plagas y enfermedades, para lo cual contaron con el respaldo financiero de la agencia de cooperación agrícola norteamericana en la región, a la vez que los representantes de firmas comerciales realizaban publicidad y visitas promocionales. En años recientes se ha discutido si es conveniente depender exclusivamente de controles químicos para combatirlos, y se han explorado alternativas de manejo integrado, al igual que algunos métodos biológicos.

5.9 Densidades de siembra, sistemas de poda y otras prácticas culturales

Si bien después de 1950 hubo crecimiento extensivo de la caficultura en varias partes del istmo, la tónica durante las últimas décadas ha sido hacia la intensificación, ya sea gradual o acelerada, de los sistemas de cultivo. No sólo se aplicaron más insumos agroquímicos, se redujo o eliminó la sombra y se introdujeron nuevas variedades, sino que aumentaron considerablemente las densidades de siembra, y también se adoptaron sistemas de poda y renovación indispensables para el manejo de cafetales densamente poblados.

A mediados del siglo, la distancias y densidades de siembra variaban según el tipo de cultivares y los procedimientos de poda. Con *Typica* o *Borbón* en libre crecimiento, se sembraba en Guatemala a distancias de entre 2.5 y 3.2 metros en cuadro, según la región.³⁸ Las distancias de siembra probablemente eran semejantes en Honduras, y menores en El Salvador, mientras que en Nicaragua y Costa Rica usualmente eran intermedias. En este último país, con *Typica* bajo sombra y poda selectiva, el número de cafetos promediaba los 1570 por hectárea.

Con la repoblación de los cafetales, v.g. mediante la introducción del llamado "quinto salvadoreño" entre hileras de plantaciones ya establecidas, la densidad de cafetos de porte alto se estimaba en 3140 por hectárea. En plantaciones nuevas establecidas hacia los años sesenta o setenta, con *Híbrido Tico* o *Mundo Novo*, se calculaba que podía ascender hasta 4710 por hectárea, 6300 si se mezclaban variedades de porte alto y bajo, o 7150 cafetos de porte bajo por hectárea (ver capítulo 12).³⁹

38 *Informe cafetalero de técnicos mexicanos* (San Salvador: FEDECAME, 1953).

39 Pérez, *Treinta y dos años...*, p. 19.

Al introducirse nuevas variedades y modificarse las densidades de siembra, también hubo un renovado interés por experimentar con distintos tipos de poda. Inicialmente se ensayaron en los demás países los procedimientos usuales en cada uno de ellos para forzar la producción de nuevas ramas fructificadoras, como la "poda de candelabro" costarricense o el "agobio" guatemalteco. La experimentación agrícola de los años cincuenta corroboró la experiencia práctica de los agricultores, en el sentido de que la poda selectiva, por mata y según las condiciones de cada rama, era un excelente procedimiento para eliminar "maderas viejas". Sin embargo, era dispendiosa en tiempo y requería de conocimiento y práctica, por lo que su vigencia fue limitándose a las fincas de menor extensión, y sobre todo a las parcelas campesinas. En las plantaciones comerciales de mayor escala y con alta densidad de siembra, se recurrió cada vez más a podas sistemáticas, ya fuesen por lote o por hileras. La "poda hawaiana", por surcos alternos, era frecuente en Costa Rica ya en los años sesenta, y comenzaba a aplicarse también en Guatemala. Por otra parte, al renovar hileras se aprovechaba para acortar la distancia entre cafetos, sobre todo cuando se introducían cultivares de porte bajo y más aun cuando se reducía o eliminaba la sombra. Con la menor altura de los cafetos y su mayor proximidad, se facilitó el trabajo de recolección, cuya productividad llegó a multiplicarse en las plantaciones más densas.

Paralelamente, fueron desapareciendo algunas prácticas e introduciéndose otras, como el riego por aspersión, que ya se utilizaba en algunas fincas salvadoreñas, guatemaltecas y costarricenses en los años cincuenta. Al eliminarse luego la sombra, se recurrió aun más al riego durante la estación seca para provocar una floración más temprana y una mejor cosecha. A mediados de los años setenta, 16% del área cafetalera centroamericana era regada, y se estimaba que ello había contribuido apreciablemente al incremento de la producción.⁴⁰

En síntesis, las caficulturas del istmo sufrieron notables transformaciones después de mediados de siglo, aunque por vías un tanto disímiles y sobre todo a ritmos bien distintos según las circunstancias locales y de cada tipo de unidad productiva. Con ello se crearon asimismo nuevas condiciones para estas últimas en el contexto de la más reciente crisis cafetalera y la posterior recuperación, cuyas implicaciones para los sistemas de cultivo trataremos rápidamente en la última sección, en la cual también se hará un repaso de la evolución reciente de las caficulturas del istmo.

40 USDA, *Coffee production...*

6 La Más Reciente crisis y las Perspectivas Actuales

Entre 1989 y 1993, el mercado internacional del café conoció una de las más severas y prolongadas coyunturas de bajos precios en su historia biseccular. Las causas estructurales de esta crisis, desencadenada por la suspensión de la cláusulas económicas del convenio cafetero internacional, fueron muy anteriores, y condujeron a replanteamientos duraderos en la organización de la cadena mundial del café. No es posible analizar aquí los orígenes de estas transformaciones del mercado ni detallar su desenvolvimiento, pero sí es necesario indicar que fue mucho más que un desajuste pasajero entre oferta y demanda, o la mera consecuencia de un desacuerdo entre representantes de países productores y consumidores sobre el sistema de cuotas. La ruptura del convenio fue sólo el detonante de procesos que conciernen a las condiciones del cultivo, transformación, intercambio y consumo del café.

Al igual que en Centroamérica, la producción cafetalera de otras regiones tropicales se había incrementado muy fuertemente en las décadas precedentes, no sólo por incorporación extensiva de nuevas áreas sino -cada vez más- mediante la intensificación tecnológica en algunas de ellas. Por otra parte, desde antes de iniciarse la crisis el control de las existencias de café se había desplazado desde los países productores a un reducido número de firmas transnacionales, con capacidad para mantener precios relativamente altos al consumidor a pesar de la disminución del pago a los productores. Sin ser éstos los únicos factores explicativos, contribuyeron a darle a esta reciente crisis cafetalera un cariz distinto a otras anteriores.

En esta sección, nos referiremos a la situación diversa de las caficulturas del istmo poco antes y al momento de sobrevenir la coyuntura adversa, luego a los impactos locales de la misma y a las estrategias de los productores para enfrentarla, para hacer finalmente una breve referencia a la recuperación posterior y las perspectivas para el futuro cercano.

6.1 Situaciones diferenciadas

A fines de la década de 1980, las condiciones de la caficultura eran bien distintas en cada país centroamericano, tanto por los procesos de más largo plazo que ya hemos reseñado como por acontecimientos muy recientes. Sobre todo en El Salvador y Nicaragua, pero también en Guatemala, los conflictos político-militares y los problemas económicos

de cada país crearon condiciones difíciles para muchos caficultores, aunque no afectaron a todos por igual. La producción cafetalera tendió a estancarse, e incluso llegó a declinar en los dos primeros países. En Costa Rica y Honduras, por el contrario, había proseguido durante los años ochenta el incremento de la producción, en el primer caso por intensificación tecnológica, más que por crecimiento extensivo, que fue lo predominante en el segundo.

6.1.1 *Dinámica de la producción*

Las cifras sobre volúmenes de café oro producidos son elocuentes en cuanto a las tendencias precedentes y la situación de las caficulturas centroamericanas al momento de sobrevenir la coyuntura adversa del mercado:⁴¹

En El Salvador, tras duplicarse la producción durante los años setenta, ésta descendió durante el siguiente decenio.⁴² Indudablemente se había revertido la secular tendencia al fuerte incremento productivo de la caficultura salvadoreña, hasta entonces una de las más eficientes del mundo. En este caso, la crisis de la producción precedió, pues, a la de los precios.

La situación de la caficultura en Nicaragua muestra afinidades con la descrita en el párrafo anterior. Las cosechas nicaragüenses habían aumentado significativamente entre mediados de siglo y fines de los años setenta, principalmente por crecimiento extensivo en las fronteras de colonización, y en menor grado por la intensificación en ciertas unidades productivas, especialmente del interior central. Durante los años ochenta, salvo un año excepcional a inicios del decenio, la producción bajó sustancialmente.⁴³ De nuevo, encontramos una profunda crisis productiva por factores del todo ajenos al mercado internacional.

En Guatemala, tras fluctuar entre mediados de los años setenta y los años intermedios de la década siguiente, la producción cafetalera creció

41 Aquí nos basamos en los datos oficiales de la OIC, *Coffee Statistics, October-September 1985-86 to 1990-91* (Londres, OIC, 1992), y Oficina Panamericana del Café, *Anuario Estadístico Cafetero*, No. 34, 1970 (Nueva York: O.P.C., 1971).

42 En los años setenta la producción salvadoreña aumentó de alrededor de 1.8 a 3.5 millones de sacos de 60 kg. Hacia el final de los años ochenta, por el contrario, había descendido a volúmenes de 2.2 a 2.5 millones de sacos anuales.

43 Entre 1950 y 1978 la producción nicaragüense aumentó 151%. A fines de los años setenta se llegó al millón de sacos, volumen sin precedentes en ese país. A fines de los años ochenta, Nicaragua producía unos 600 000 sacos.

apreciablemente en la parte final de ese decenio.⁴⁴ A pesar de ese moderado crecimiento, la caficultura guatemalteca parecía haber alcanzado un nivel cuya superación requeriría de una mayor intensificación de la caficultura, en un país donde ésta ha sido tradicionalmente extensiva.

La producción costarricense de café aumentó en forma sostenida durante varias décadas, triplicándose con creces entre mediados de siglo y fines de los años ochenta.⁴⁵ Sin duda el dinamismo de la producción ha sido fuerte y prolongado, pero ya son pocas las nuevas tierras disponibles para café, y no es claro cuánto más podrá intensificarse el cultivo en este país, que ya alcanzó el mayor nivel internacional.

En Honduras, por la disponibilidad de tierras potencialmente cafetaleras, el bajo nivel tecnológico de la caficultura en ese país y su asociación a procesos de colonización campesina, ha sido posible un crecimiento continuado de la producción, cuyo dinamismo parece trascender los avatares del comercio mundial, siguiendo una expansiva lógica interna en vez de responder mecánicamente a las fluctuaciones de precios.⁴⁶

Así, cuando sobrevino la crisis del mercado internacional, encontramos situaciones bien distintas de la producción cafetalera en el istmo: declinante en El Salvador y Nicaragua por problemas internos, aunque ello mismo planteaba la posibilidad de una futura recuperación; fuertemente dinámica en Honduras, sin visos de una reducción a corto plazo; y creciente -bajo condiciones tecnológicas y sociales muy distintas- en Guatemala y Costa Rica, con señales de desaceleración en el primero de estos países y de un potencial estancamiento en el segundo.

6.1.2 Territorios del café

En cuanto al área cafetalera, el mayor aumento se había dado en Honduras, donde se duplicó entre 1974 y finales del decenio siguiente.⁴⁷

44 De mediados de los años setenta a mediados de los ochenta, la producción guatemalteca fluctuó entre 2.2 y 2.8 millones de sacos. Entre 1987 y 1990 se ubicó en un nivel cercano o ligeramente superior a los 3 millones de sacos.

45 Al finalizar la década de 1980, la cosecha costarricense ascendió a 2.5 millones de sacos. Durante las cuatro décadas desde 1950, la tasa promedio anual de crecimiento de los volúmenes producidos en Costa Rica fue de 3.3%.

46 La cosecha hondureña, que a inicios de los años setenta era de sólo medio millón de sacos, creció fuertemente hasta alcanzar 1.8 a 2.0 millones de sacos entre fines de los ochentas e inicios de los noventas.

47 Según los datos de la FAO sobre superficie cosechada en 1988 y 1989, para entonces había en Honduras unas 141 mil hectáreas de cafetales en producción.

Fue precisamente el crecimiento extensivo, por incorporación de nuevas tierras, lo que impulsó el fuerte incremento de la producción hondureña.

En Costa Rica, la superficie cafetalera sólo aumentó 25% entre mediados de los años setenta y fines de los ochentas.⁴⁸ En consecuencia, la expansión territorial fue un factor secundario en el considerable crecimiento de los volúmenes producidos.

En Guatemala, el área cosechada no parece haber crecido muy significativamente durante esas dos décadas.⁴⁹ Esto sugiere que el moderado aumento en la producción se debió a una gradual intensificación en los años setenta u ochenta, y también que había limitaciones de acceso a nuevas tierras cafetaleras. Lo último podría deberse a una reducida disponibilidad de las mismas, pero también a restricciones de acceso en determinadas zonas por falta de infraestructura vial o por el estado de conmoción interior.

La superficie cafetalera cosechada en El Salvador se redujo durante la década de 1980.⁵⁰ Cualitativamente, se indicaba que, a raíz de la guerra civil, "algunos caficultores, especialmente los de la región oriental del país, han tenido que abandonar sus cafetales."⁵¹ Sin embargo, la reducción del área solamente explicaría una parte menor de la fuerte disminución de la producción en ese decenio, lo que a su vez apunta hacia una posible regresión tecnológica por las dificultades internas del más pequeño país centroamericano.

El área cafetalera en Nicaragua se redujo aun más que en El Salvador durante los años ochenta.⁵² Esta disminución se debió a una combinación

48 Al concluir la década de 1980, el área en cafetalera costarricense en producción se situaba entre 93 y 100 mil hectáreas.

49 Se estima que en Guatemala se cosechaban 235 a 245 mil hectáreas de cafetales al concluir la década de 1980, cifra similar a la reportada 25 años atrás. Cabe advertir que los datos para este país son un tanto imprecisos, especialmente en lo relativo a la caficultura campesina.

50 El área cafetalera en producción en El Salvador oscilaba entre 150 y 175 mil hectáreas al finalizar la década del ochenta, un descenso de aproximadamente diez mil hectáreas respecto del área en producción a principios del decenio.

51 Las estimaciones más bajas son de UNCTAD/GATT, Centro de Comercio Internacional, *Café. Guía del Exportador* (Ginebra: CCI, 1992), p. 301. Las más altas corresponden a: Ministerio de Agricultura y Cría, *El Salvador. El sector agropecuario en cifras y gráficos* (San Salvador: MAG, 1992). En todo caso, ambas fuentes confirman la tendencia decreciente del área cafetalera.

52 Para Nicaragua se reportaban poco menos de 90 mil hectáreas en cafetales productivos hacia 1978, aunque un estudio sugiere que el área real quizás era 10 a 15% mayor. Durante los años ochenta, la superficie cafetalera productiva en Nicaragua se redujo a unas 72 mil hectáreas. Harry Clemens y Jorge Simán, "Tecnología y desarrollo del sector cafetalero en Nicaragua", en *Revista de Historia* (Costa Rica), núm. 30, julio-diciembre de 1994, pp. 69-101. La subestimación habría sido intencional, por las restricciones impuestas por la OIC. Esto, a su vez, plantea la posibilidad de algún subregistro análogo en otros países productores miembros de ese organismo internacional.

de factores: eliminación de zonas ecológicamente marginales para el café, dificultades macroeconómicas y de mano de obra, aparición de la roya (ver capítulo 6), e impacto directo de la guerra civil, que entre otras consecuencias dejó alrededor de cinco mil manzanas minadas. No obstante, la reducción de la superficie en cafetales no alcanzaría a explicar del todo la pronunciada baja en la producción, lo que de nuevo nos remite a un posible deterioro en las condiciones técnicas de la caficultura nicaragüense durante esos años.

De lo antedicho se desprende que las guerras civiles en al menos dos países centroamericanos condujeron a una reducción del área cafetalera, aunque la misma es insuficiente para dar cuenta cabal de la caída en los volúmenes producidos en Nicaragua y El Salvador. En Guatemala, el tercer país que sufrió un prolongado conflicto político-militar, se frenó el crecimiento extensivo de la caficultura y hubo una modesta intensificación. En Honduras, la expansión territorial del café fue la base principal de un sostenido aumento en la producción. La incorporación de nuevas áreas perdió importancia en Costa Rica, donde jugó un papel mucho menor que el de la tecnificación en el crecimiento productivo de los años setenta y ochenta.

6.1.3 Los caficultores

En todo el istmo, numerosos agricultores con diverso grado de especialización y tecnificación producen café en fincas de extensión sumamente variada. La importancia social de esta actividad se refleja en la existencia de decenas de millares de caficultores en cada país centroamericano, como también en la magnitud -varias veces superior- de la fuerza de trabajo familiar o asalariada. De acuerdo con la información disponible, a fines de los años ochenta había en Centroamérica al menos 277 mil fincas cafetaleras.

Entre mediados de los años setenta y fines del decenio siguiente, el número de productores de café se incrementó notablemente en Honduras.⁵³ Este aumento en la cantidad de unidades productivas obedece en gran medida a una expansión de la caficultura campesina, especialmente en las zonas de colonización agrícola reciente o continuada.

53 En 1974 se estimaba que había unos 48 mil caficultores en Honduras, y en 1990 se registraron 68 mil.

Para Costa Rica, un estudio reciente afirma que existen alrededor de 80 mil productores de café, cifra muy superior a previas estimaciones.⁵⁴ Sólo una parte menor del incremento podría atribuirse a la creación de nuevas fincas en zonas de colonización, y en cambio jugaría un mayor papel explicativo la fragmentación continua de la propiedad cafetalera en áreas de asentamiento anterior.

En Guatemala, las cifras más detalladas, para mediados de los años ochenta, indican la existencia de 61 633 productores de café, desde muy pequeños hasta latifundistas.⁵⁵

Respecto de El Salvador, se estima que había unos 50 mil caficultores al inicio del actual decenio. No está claro si el número era estable o tendía a incrementarse o decrecer.

En Nicaragua, según el censo de 1971 había 17 483 productores de café, pero seguramente el número aumentó de modo considerable en años subsiguientes, para los cuales lamentablemente carecemos de estadísticas nacionales comparables a las de otros países.

Al incluir a los miembros de las respectivas unidades domésticas, en el caso de la caficultura campesina, la población directamente vinculada a esta actividad se multiplica varias veces. Para Centroamérica como un todo, la cifra asciende a más de un millón de personas. Por otra parte, además del trabajo permanente realizado por miembros de la unidad doméstica o personal asalariado para la atención de los cafetales, la recolección del fruto y el procesamiento de su semilla ocupa un número mucho mayor de brazos, generando asimismo fuertes migraciones entre regiones y países.

6.1.4 La propiedad de los cafetales

La distribución social de la propiedad cafetalera, como también de la producción misma, variaba de un país a otro, y aun dentro de cada país.

54 Organización Internacional del Café, *Monografía cafetera. Costa Rica*. (Londres: OIC, 1997), p. 13. Anteriormente, se daban cifras muy inferiores, v.g. de 45 mil caficultores. Quizás no deberíamos descartar de antemano la posibilidad de que la cifra más alta corresponda al número de entregadores registrados de café a los beneficios, que por razones fiscales o de otra índole podrían ser en algunas oportunidades más de uno por finca.

55 Fritz Thomas y Fernando García, *El mejor café del mundo* (Guatemala: ANACAFE, 1991). Otras fuentes, probablemente basadas en estadísticas anteriores o en datos que exclúan a los productores más pequeños, algunos sin título de propiedad, hablan de unos 45 mil propietarios de fincas productoras de café.

A fines de los años ochenta, Guatemala seguía siendo el país donde las grandes explotaciones cafetaleras controlaban la mayor parte de la producción, pero aun allí había numerosas pequeñas fincas campesinas: 58 700 productores (o sea 95% del total), cosechaban menos de cincuenta quintales de café oro en 30% del área y aportaban 22% de la producción. En el otro extremo, 206 grandes unidades productivas (con producción superior a 3000 quintales, o sea haciendas mayores de unas 318 hectáreas) abarcaban 24% de la superficie en cafetales, y 37% de la producción.⁵⁶

A mediados de los años ochenta, 9 de cada 10 caficultores salvadoreños eran "pequeños" según el criterio allí establecido, esto es, con producciones inferiores a 200 quintales. Sin embargo, solamente controlaban 17% de la producción cafetalera. En el decenio anterior, la estadística oficial indicaba que un 7% de los caficultores, con producción superior a 1000 quintales de café oro, controlaba 72% del área cafetalera y 76% de la producción salvadoreña. Con la reforma agraria de principios de los años ochenta hubo una subdivisión de propiedades mayores de 30 manzanas, aunque las fincas relativamente grandes siguieron teniendo un peso muy significativo, y es posible que en algunos casos la fragmentación fuese más jurídica que operativa.⁵⁷

En Costa Rica el 92% de los productores de café tienen menos de cinco hectáreas, y en conjunto controlan 44% del área cafetalera total. Por otra parte, 2% de las fincas tienen más de veinte hectáreas en café, y abarcan 35% del área.

En Nicaragua, como un todo, los datos disponibles indican que los grandes productores controlaban la mitad de la producción cafetalera a fines de los años ochenta; 30% correspondía a los pequeños y medianos productores, y el resto a empresas estatales.⁵⁸ Las principales regiones cafetaleras de Nicaragua presentan situaciones disímiles entre sí: en el Pacífico sur predomina la mediana explotación capitalizada; el Interior central se encuentra polarizado entre un reducido número de fincas bastante grandes y una considerable cantidad de explotaciones campesinas;

56 Manuel Castro, "La caficultura en Guatemala: Estado y prioridades de la investigación aplicada para pequeños agricultores", en IDRC-CRDI-CIID, *Prioridades de Investigación Aplicada en el Café para Pequeños Agricultores*. Seminario-Taller, Costa Rica, 15-17 julio 1987 (mimeografiado). Al parecer, los registros anteriores excluían a una proporción considerable de los minifundistas, especialmente indígenas.

57 Cf. Wim Pelupessy, *El mercado mundial del café. El caso de El Salvador* (San José: DEI, 1993), p. 102-104.

58 Edgardo Mejía Alvarado, "La caficultura en Nicaragua: Prioridades de investigación aplicada para pequeños productores", en IDRC-CRDI-CIID, *Prioridades...*

más hacia el norte, y especialmente cerca de las fronteras de colonización, el peso del campesinado caficultor llega a ser predominante.

En Honduras tiene un peso abrumador la producción campesina: 90% de los productores tienen fincas menores de 7 hectáreas en café y abarcan poco más de la mitad del área cafetalera total. Las explotaciones con más de 14 hectáreas de café controlan menos del 17% de la producción nacional en 1990.⁵⁹

Según un balance hecho hacia 1990 para todo el istmo: "En todos los países los pequeños caficultores con menos de diez hectáreas de café sembrado y una producción inferior a los 100 qq. de café oro representan a más del 80% de las unidades."⁶⁰ Y sin embargo, como hemos visto, su participación relativa en la producción podía ser distinta, tanto por su grado de fragmentación como por la mayor o menor proporción de tierras concentradas en grandes propiedades.

6.1.5 Rendimientos dispares

En los años anteriores a la crisis, la producción por hectárea conoció su mayor incremento en Costa Rica, país que alcanzó el más alto nivel de producción promedio por hectárea (alrededor de 1700 kg de café oro, en comparación con sólo 412 kg a mediados de siglo). Es precisamente la elevación de los rendimientos la que explica el grueso del aumento en la producción costarricense entre los años sesenta y los ochentas.

En El Salvador, que había sido el productor más eficiente, durante la guerra civil se redujeron las inversiones, escaseó la mano de obra y mejoró considerablemente la atención de los cafetales. Como consecuencia, "la productividad, que se encontraba entre una de las más altas del mundo (más de 1200 kg por hectárea a finales de los años setenta), ha descendido actualmente a menos de 900 kg".⁶¹ Otra fuente señala que los rendimientos medios en El Salvador habían descendido hasta 520 kg/ha., como promedio 1985-1990, para luego recuperarse parcialmente.⁶²

59 Eduardo Baumeister y Cor Wattel, "Migraciones e inserción ocupacional de los cafetaleros en Honduras", en *Revista de Historia* (Costa Rica), núm. 30, julio-diciembre de 1994, p. 145-163. Mario René Palma, "Situación de la caficultura hondureña", en IDRC-CRDI-CIID, *Prioridades...*

60 Jan P. de Groot y Raúl Ruben, "Sistemas de producción y transferencia de tecnología en la economía cafetalera de Centroamérica" (San José: Universidad Libre de Amsterdam, Oficina Regional Centroamérica, 1990, mimeografiado).

61 UNCTAD/GATT, *Café...*, p. 301.

62 Billan, *Bilan et perspectives...*, p. 179.

También en Guatemala, la intensificación de la caficultura se vio obstaculizada por los problemas sociopolíticos internos: "En los últimos decenios, la inseguridad producida por las tensiones políticas y sociales ha impedido el desarrollo de la industria cafetera. La productividad se ha mantenido estática en 700 kg por hectárea (...)"⁶³ Al observar más detenidamente las cifras anuales de rendimientos, se constata que entre principios y mediados de los años ochenta se revirtieron los avances tecnológicos de la década anterior; entre 1985 y 1990, en cambio, hubo una significativa recuperación de los rendimientos.⁶⁴

La producción por área en Nicaragua había aumentado de unos 350 kg por hectárea en 1965 a unos 600 ó 610 kg a fines de los años setenta. Aun si se reajusta este incremento para compensar una posible "inflación" táctica o intencionada de los mismos, la tasa anual de incremento sería superior a 3.5% anual. A fines de la década siguiente, aunque se había incrementado el uso de fertilizantes cuyo costo se mantuvo bajo, los rendimientos no habían aumentado, sino que eran ligeramente inferiores respecto de los niveles alcanzados al final de la dictadura somocista.⁶⁵

El rendimiento promedio hondureño aumentó durante los años setenta y ochenta, sin llegar a duplicarse: era de 450 kg por hectárea a inicios de la primera década, y poco más de setecientos al finalizar la siguiente.

Las disparidades entre países eran, pues, bastante claras: los rendimientos medios costarricenses casi duplicaban a los salvadoreños, invirtiendo la situación de mediados de siglo, y cuadruplicaban a los hondureños pese al gradual incremento de éstos. Los rendimientos guatemaltecos y nicaragüenses, sin ser los más bajos, eran modestos, evidenciando una caficultura que en términos generales seguía siendo relativamente extensiva. En Costa Rica y Honduras hubo aumentos sostenidos, aunque a niveles muy dispares; en Guatemala los rendimientos fluctuaron, mientras que en El Salvador y Nicaragua primero aumentaron, para luego decaer.

63 UNCTAD/GATT, *Café...*, p. 303.

64 Thomas y García, *El mejor café...* Refiriéndose a los últimos quince años, un estudio realizado por técnicos colombianos señala un leve incremento tendencial en los rendimientos cafetaleros guatemaltecos, del orden de 1.2% anual. Cf. Ricardo Avellaneda, Jorge Ramírez y Edgar Echeverri, "Informe sobre la caficultura de Costa Rica, Guatemala, El Salvador y Honduras (Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1995, mimeografiado).

65 Clemens y Simán. "Tecnología..."

En cada país, y aun dentro de una misma región, los rendimientos eran bien disímiles de un tipo de unidad productiva a otro, pero el sentido de esta diferenciación no era siempre el mismo:

A fines de los años ochenta, en Nicaragua eran las grandes empresas cafetaleras las que tenían los más bajos rendimientos, casi la mitad que en las estatales, altamente tecnificadas ya al momento de la expropiación; los demás productores independientes y cooperativizados tenían rendimientos intermedios.⁶⁶

En Guatemala, por el contrario, algunas grandes unidades productivas triplicaban los rendimientos medios. La producción campesina era menos intensiva, pero también había un considerable rango de variabilidad, pues algunas fincas pequeñas producían el doble que otras en la misma área.⁶⁷

Durante la década del ochenta, los rendimientos en la caficultura salvadoreña se diferenciaban claramente por estratos de tamaño: en fincas mayores del centenar de hectáreas podían cuadruplicar los de explotaciones menores de diez hectáreas, mientras que las fincas de extensión mediana tenían rendimientos intermedios.⁶⁸

El tercio más tecnificado de los caficultores hondureños obtenía para entonces rendimientos que podían duplicar la media nacional, mientras que las más pequeñas fincas, tecnológicamente tradicionales, apenas alcanzaban la mitad de ésta.⁶⁹

La caficultura costarricense presenta la singularidad de que si bien hay algunas diferencias de rendimientos por estrato de tamaño, las mismas son bastante reducidas, pues se mantienen entre -9 y +23% respecto de la media nacional. Los rendimientos más elevados corresponden a fincas con 50 a 100 hectáreas de café y a las de extensión mayor de 500 hectáreas, pero también las fincas de 1 a 5 hectáreas están significativamente por encima del promedio nacional. Los rendimientos más bajos corresponden a las fincas con 5 a 20 hectáreas en café.⁷⁰

66 Clemens y Simán, "Tecnología..."

67 Cf., por ejemplo, J.C. Méndez y M. Benoit-Cattin, "Intensificación de la caficultura de los pequeños productores de Guatemala. Una tipología", en *Café Cacao Thé*, vol. XXXVIII, núm. 2, abril-junio de 1994, p. 125-133.

68 Manuel Flores Berrios, "Aspectos generales de la caficultura en El Salvador", en IDRC-CRDI-CIID, *Prioridades...* Los datos provienen de un estudio del ISIC para una zona específica, en 1984, pero el autor citado considera que son extrapolables al conjunto de la caficultura salvadoreña.

69 Palma, "Situación..."

70 Cálculos realizados a partir del *Censo Agropecuario de 1984*, cuadro 62.

En síntesis, encontramos la usual asociación entre mayores rendimientos y extensiones en Guatemala, El Salvador y Honduras, pero en Nicaragua hay una situación distinta que refleja tanto la estatización de las plantaciones más productivas como una probable descapitalización de las restantes grandes explotaciones privadas. En Costa Rica, si bien algunas de las mayores explotaciones logran rendimientos más elevados, otro tanto ocurre en un número apreciable de pequeñas fincas campesinas, y lo que más llama la atención es la proximidad relativa de todas las categorías de tamaño a la media nacional.

6.1.6 Los modos de cultivar

Las tecnologías cafetaleras predominantes difieren radicalmente de un país a otro, pese a que en cada uno pueden encontrarse unidades productivas que se apartan del modelo tecnológico que prevalece. Por la naturaleza de este estudio, nos detendremos un poco más en este punto, para cada país:

La intensificación de la caficultura costarricense, en respuesta al encarecimiento tanto de la tierra como de la mano de obra, sólo encuentra parangón en la hawaiana o la de ciertas otras pequeñas zonas cafetaleras altamente tecnificadas. Quizás su particularidad sea el alcance nacional de la tecnificación, que si bien muestra variantes, abarca a numerosas unidades productivas de muy diversa extensión. Alrededor de 25% del área cafetalera se cultiva a pleno sol, y el resto con sombra moderada; usualmente se aplican fuertes insumos agroquímicos. Buena parte del incremento en la producción se atribuye -además de los factores antedichos- a la generalización de variedades mejoradas de porte bajo, con altas densidades de siembra y poda sistemática por hileras o por lotes. Por otra parte, se ha generalizado el control químico de malezas, no sólo para ahorrar mano de obra sino también por "variaciones ambientales en las plantaciones producto de los cambios en la metodología de trabajo, lo que favoreció la presencia de especies de malezas más agresivas y difíciles de controlar manualmente."⁷¹

La comparación con El Salvador muestra una progresiva desintensificación de la caficultura en este último país. Si entre mediados de siglo y fines de los años setenta casi se había triplicado allí la densidad de siembra,

71 Gerardo Hidalgo, "Investigación y producción de café en Costa Rica", en *Sintercafé. X International Coffee Week. November 9-13th, 1996* (mimeografiado, 1996), p. 8.

que llegó a promediar unos cuatro mil cafetos por hectárea, a fines de los ochentas alrededor de dos tercios de los cafetales salvadoreños tenían entre 1400 y 3600 arbustos por hectárea.⁷²

También era notorio el envejecimiento de las plantaciones en El Salvador: "A finales de los ochentas, se estimaba que un alto porcentaje de los cafetales tenía edades por arriba de los treinta años."⁷³

Si a lo anterior se suma la fuerte disminución de los rendimientos, comentada anteriormente, es evidente que hubo una descapitalización de muchas unidades productivas, cuyos propietarios redujeron al mínimo las inversiones.

En Nicaragua, los sistemas de cultivo eran relativamente extensivos pero desde 1966 se intentó tecnificar la producción a través del Programa Nacional Cafetalero. Durante los años setenta se intensificó el uso de la tierra en algunas fincas cafetaleras, sobre todo del interior central. Entre 1980 y 1983, el programa CONARCA impulsó en el Pacífico nicaragüense una acelerada renovación e intensificación, a la postre frustrada y considerada perjudicial por no adecuarse a las condiciones locales:

"...alteró las condiciones agroecológicas y edafoclimáticas de la zona, agravando las restricciones que existían tradicionalmente para la producción cafetalera. El microclima que hacía posible que el café tradicional con sombra densa se pudiera producir en la zona fue alterado. El 'stress' hídrico, la erosión y los fuertes vientos se agravaron después de la renovación. También se han aumentado los problemas de plagas insectiles y otras enfermedades. La eliminación de la sombra, originando una reducción de la producción de hojarasca, y las calles anchas aumentaron el problema de malezas. Todos estos cambios indujeron una mayor necesidad de uso de plaguicidas y aumento de costos de producción. El aumento de la producción cafetalera en la región fue insignificante (...)."⁷⁴

Por otra parte, durante los años ochenta hubo un notable deterioro de algunas plantaciones privadas, cuyos propietarios optaron por reducir al mínimo las inversiones ante las incertidumbres económicas y políticas de esos años o abandonaron el cultivo. Aún hay muchas fincas abandonadas en la región norte, cuyos dueños no logran reactivar su producción ni pueden venderlas por problemas relacionados con los títulos de propiedad.

72 Flores, "Aspectos..."

73 "La caficultura salvadoreña", mimeografiado, s.f., s.p.i.

74 Clemens y Simán, "Tecnología...", p. 79-80.

En Guatemala, el uso de sombra (especialmente *Ingas* y musáceas) sigue siendo bastante generalizado, pero el grado de especialización y tecnificación varía considerablemente:

Entre los propios campesinos caficultores de Guatemala, unos son altamente especializados, en tanto que otros dedican una parte significativa de su tierra y del trabajo familiar a la producción de alimentos, especialmente maíz y frijoles. Aun con extensiones similares, por ejemplo de 3 a 4 hectáreas, el proceso de intensificación tecnológica es incipiente en ciertas unidades productivas domésticas, que mantienen sombrero permanente, variedades de porte alto y una mínima atención a los cafetos. En cambio, está relativamente avanzado en otras, cuya sombra es regulada, tienen cultivares de porte bajo, fertilizan, y controlan las malezas ya sea manualmente o con herbicidas. Las fincas campesinas más tecnificadas tienen algunas posibilidades de acumulación, en tanto que otras —especialmente las subfamiliares— tienden a debilitarse y podrían incluso desaparecer. Entre el umbral de reproducción y el de acumulación se ubican varios tipos de unidades productivas campesinas, con tecnologías intermedias y grados variables de especialización cafetalera.⁷⁵

En las grandes fincas guatemaltecas hay también variantes en cuanto al grado de tecnificación, pero es claro que la disponibilidad de mano de obra barata ha limitado la intensificación.

El más bajo nivel de intensificación en el cultivo corresponde a Honduras, donde predomina la sombra natural, aunque también se han sembrado *Ingas*; las densidades de siembra y los niveles de fertilización usualmente son bajos; muchos caficultores no practican la poda; se combinan variedades de porte alto y bajo; el control de plagas y enfermedades representa un serio problema. La dispersión geográfica del campesinado caficultor y las dificultades de transporte han hecho que prevalezca el uso de despulpadoras manuales y pequeños tanques, al estilo colombiano, para producir en la propia finca pergamino húmedo o seco que luego es vendido a intermediarios, y finalmente trillado en plantas centrales.

Por lo expuesto, se comprenderá que las caficulturas y los caficultores del istmo se encontraban en situaciones muy diversas cuando sobrevino la más reciente crisis de mercado. Seguidamente nos referiremos a los impactos locales de la misma, las estrategias para enfrentarla, y la recuperación posterior.

75 Méndez y Benoit-Cattin, "Intensificación..."

6.2 *Respuestas locales*

Los modos específicos en que la crisis cafetalera de 1989-1993 afectó a cada país, región y tipo de unidad productiva dependieron de sus situaciones precedentes, que acabamos de reseñar, y de las estrategias de productores, gremios y entidades públicas para enfrentarla. Aquí nos centraremos, sobre todo, en los componentes tecnológicos y ciertos aspectos económicos indispensables para comprender el disímil impacto local de la coyuntura.

6.2.1 *Productividad y costos*

Al bajar las cotizaciones del grano en forma pronunciada y durante un quinquenio, cobraron especial importancia las diversas productividades laborales y los costos unitarios, esto es, por fanega de cereza cosechada o quintal de café oro.

Poco antes de suspenderse las cláusulas económicas del convenio internacional, la productividad física por trabajador era máxima en Costa Rica, donde gracias a una alta densidad de siembra y fuertes insumos duplicaba con creces la cantidad producida por persona en Nicaragua y en Guatemala. Por otra parte, la productividad del trabajo era intermedia en El Salvador y en Honduras.⁷⁶

Los costos de producción también variaban entre países, pero en menor grado y de manera distinta que la productividad o los rendimientos. Sabemos que por hectárea los costos eran muy superiores en Costa Rica, pero también lo eran los rendimientos. En los demás casos, había relaciones variables entre inversión y producto obtenido.

El costo más pertinente, para nuestra comparación, es el de producir una fanega cosechada o su equivalente aproximado, un quintal de café beneficiado. En un mismo país, dicho costo podía cambiar sustancialmente en pocos años, como sucedió en El Salvador donde aumentó durante la década del ochenta por los menores rendimientos y por los costos de control asociados a una mayor incidencia de plagas y enfermedades.

Para cuatro de los cinco países contamos con una comparación de costos unitarios hecha, sobre bases comunes, por técnicos colombianos,

⁷⁶ De Groot y Ruben, "Sistemas...", cuadro 2. En quintales por trabajador, y en el orden citado, las productividades eran de 41.5 qq, 17.8 qq, 20.0 qq, 31.0 qq y 25.2 qq hacia 1988.

aunque sólo se refieren a medianas fincas tecnificadas. Los costos más elevados (aunque inferiores a los colombianos) correspondían a Costa Rica, seguida por Guatemala y El Salvador, siendo el de Honduras considerablemente menor.⁷⁷ Para Nicaragua, otro estudio arroja un costo intermedio, de US\$ 0.70 por libra, en fincas tecnificadas.⁷⁸

La estructura de esos costos era semejante, en cafetales tecnificados, pero los costos en mano de obra -según los estudios citados- eran especialmente bajos en Honduras, en comparación con Guatemala, Costa Rica y El Salvador.⁷⁹

Desafortunadamente, no contamos con una comparación sistemática de los costos de producción en cafetales poco tecnificados de los distintos países, aunque sí hay datos parciales para algunos de ellos:

Si bien los rendimientos de la caficultura tecnificada cuadruplican con creces los de cafetales tradicionales en Nicaragua, los costos unitarios de éstos últimos son apenas dos tercios del costo por quintal tecnificado.⁸⁰ Para este mismo país, otro estudio corrobora la misma relación proporcional entre los costos unitarios de la caficultura tradicional, por una parte, y los de sistemas semi-tecnificados y tecnificados, muy similares entre sí a este respecto.⁸¹

En Guatemala, por el contrario, un análisis de los costos de producción unitarios, para 1989, encontró que eran mayores con tecnologías tradicionales, intermedios en las unidades medianamente tecnificadas, mientras que el costo agrícola por kilogramo de café tecnificado era solamente dos tercios del tradicional.⁸² Así, la relación entre costos unitarios y grado de tecnificación era inversa a la encontrada en Nicaragua.

Las diferencias de costos unitarios entre fincas cafetaleras costarricenses eran menores, por la mayor uniformidad en los rendimientos por estrato de tamaño y una diferenciación tecnológica menos pronunciada que en otros países centroamericanos, y sobre todo por la mínima importancia

78 Clemens y Simán, "Tecnología...", cuadro 5.

79 Los datos (US\$ por lb.) en el orden respectivo son: Honduras, 0.22 ; Guatemala, 0.39; Costa Rica, 0.42.; El Salvador ,0.46. Cf las dos notas anteriores. Para Nicaragua no tenemos un dato comparable.

80 Clemens y Simán, "Tecnología...", cuadro 5.

81 Banco Central de Nicaragua, Vice-Gerencia de Planificación, cuadros "Tecnología tradicional", "Tecnología semi-tecnificada" y "Tecnología tecnificada" (Managua: mimeografiado, 1993, sin paginación).

82 Manuel Castro Magaña, "Caficultura guatemalteca y costos de producción" (Guatemala: ANACAFE, 1989, mimeo, sin paginación), cuadro "Costos agrícolas de producción por saco de café pergamino/ha. 1989 en dólares de U.S.A."

de la caficultura tradicional. En cambio, para niveles tecnológicos semejantes es notoria la variación de los rendimientos, y por consiguiente de los costos unitarios, según la mayor o menor idoneidad agroecológica de cada zona. Aun así, en términos generales, la tecnificación conllevó una mayor producción por unidad de tiempo laboral, tanto en la atención de los cafetos como en la cosecha. Un reciente análisis de la productividad física del trabajo corrobora las diferencias entre regiones costarricenses a este respecto, y compara distintos cultivares de porte alto y bajo, con mayor o menor grado de intensificación. Concluye que "la eficiencia del trabajo aumentó drásticamente conforme se pasa de los sistemas menos intensivos a los más tecnificados".⁸³ Y dado el costo muy superior de la mano de obra en Costa Rica, se trata precisamente de un componente medular de los costos de producción.⁸⁴

También en Honduras se esperaría que fuese moderada la variación en los costos unitarios dentro del país, aunque en este caso por el nivel de insumos relativamente bajo en la gran mayoría de unidades productivas. No obstante, la dificultad de obtener información precisa sobre costos diferenciados por tipo de finca o de tecnología nos impide ser afirmativos al respecto.

En El Salvador, una vez más, la situación parece haber variado rápidamente en el transcurso de una década. Un estudio realizado a principios de los años ochenta indicó que si bien los costos por hectárea eran mayores en cafetales más tecnificados, como era de esperar, en cambio no había grandes diferencias en el costo unitario ni en su composición, que pudiesen correlacionarse con el grado de modernización. La creciente desatención de los cafetales durante esa década significó una disminución del costo por hectárea en cafetales mal atendidos o abiertamente descuidados, a la vez que un mayor costo por unidad de producto en esas mismas fincas. Así, a mediados de ese decenio, "el costo total de los cultivos eficientes fue de US\$31.20 por quintal, un 30% más alto para los intermedios, y más del doble de esa cantidad para las propiedades descuidadas".⁸⁵

A falta de estudios sobre bases comparables, de momento no podemos extraer conclusiones definitivas sobre la diferenciación de los costos de

83 Paul Sfez, "Revolución verde y cambio tecnológico en la caficultura", en Carlos Naranjo, Mario Samper y Paul Sfez, *Entre la tradición el cambio: Evolución tecnológica de la caficultura costarricense* (Heredia: UNA e IPGH, 1998).

84 Cerca de 43% del costo agrícola total, en el análisis de Hidalgo, "Investigación..."

85 Wim Pelupessy, *El mercado mundial...*, p. 78-79.

producción en el istmo, pero es evidente que había marcados contrastes entre los países, como también entre tipos de unidades productivas, los cuales situaban a cada cual en diversa posición ante la coyuntura externa.

6.2.2 Variables productivas

Para el istmo como un todo, salvo una breve reducción en la cosecha 1990-91, el volumen de café producido anualmente mantuvo una tendencia moderadamente creciente entre 1988-89, cuando se producían 9.20 millones de sacos, y 1992-93, año en que se cosecharon 12.78 millones de sacos. Más que una clara disminución de la producción por la prolongada depresión de los precios, parecen haber operado dinámicas internas que no respondían directa ni inmediatamente a las cotizaciones internacionales. Es posible que se hayan combinado varios factores: la incorporación de ciertas áreas adicionales por procesos de colonización, la expansión del área cafetalera en fincas ya establecidas ante la expectativa de mejores precios por venir, y algunas mejoras a plantaciones deterioradas.

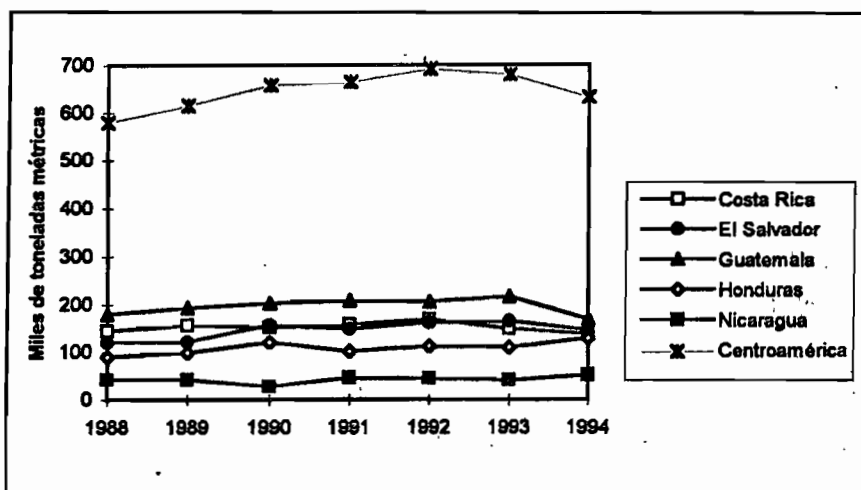


Figura 1-1. Producción centroamericana de café, 1988-1994.

Por países, ese aumento fue especialmente significativo El Salvador, con un incremento desde 1.51 hasta 3.00 millones de sacos, y en Guatemala, que pasó de producir 2.99 a 4.32 millones de sacos. En Costa Rica y Honduras también creció la producción, mientras que en Nicaragua fluctuó acentuadamente.

Es hasta la cosecha de 1993-94 que se observa una reducción (a la postre temporal) de la producción centroamericana, principalmente por la disminución del volumen en Guatemala, Costa Rica y El Salvador.

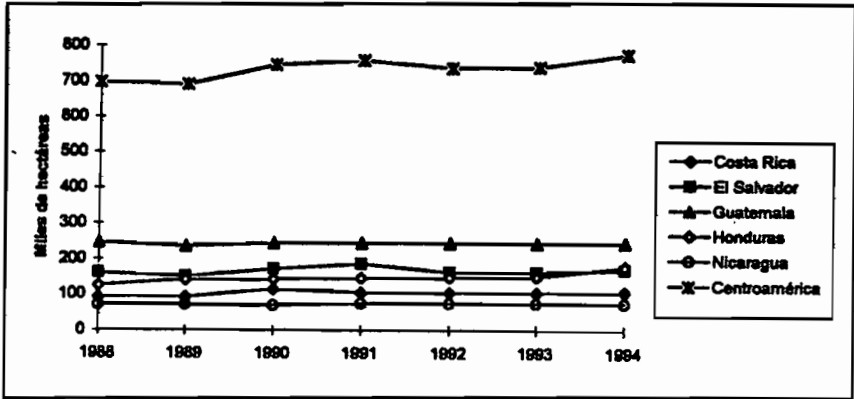


Figura 1-2. Superficie cafetalera cosechada en Centroamérica, 1988-1994. (miles de hectáreas).

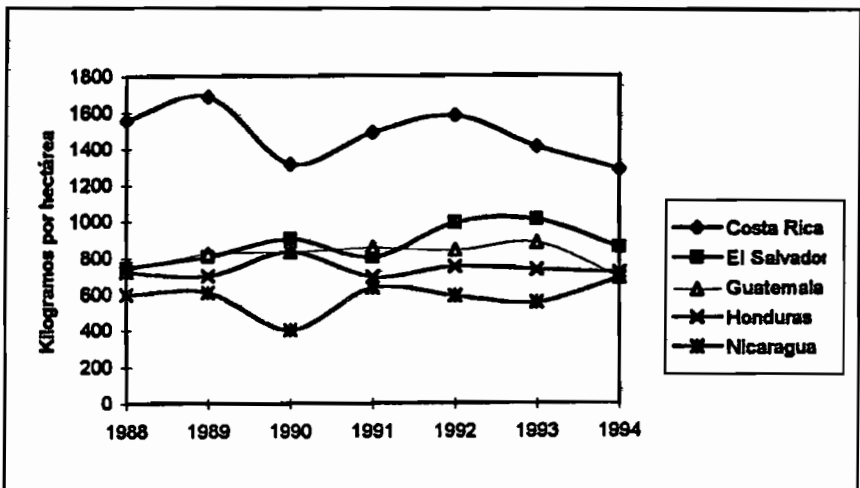


Figura 1-3. Rendimientos por área en Centroamérica, 1988-1994. (kg/ha).

El área cafetalera cosechada en Centroamérica aumentó entre 1988 y 1990, para luego estabilizarse hasta 1993, cuando comienza a aumentar de nuevo. El incremento inicial se debió sobre todo a la entrada en producción de áreas nuevas o rehabilitadas en Costa Rica y El Salvador. Honduras prosiguió su aumento gradual del área cafetalera, mientras que en Guatemala y Nicaragua la superficie cosechada se mantuvo relativamente estable (figura 1-2).

Los rendimientos en café oro por hectárea siguieron siendo elevados en Costa Rica, pero tuvieron un comportamiento fluctuante, con baja pronunciada entre 1989 y 1990, recuperación hasta 1992 y declinación posterior. En el resto del istmo también tuvieron altibajos, siendo similares hacia 1994 en Guatemala, Honduras y Nicaragua, pero mayores en El Salvador (figura 1-3). Si al inicio de la coyuntura los rendimientos costarricenses casi duplicaban los de otros países centroamericanos, al concluir la crisis de mercado la diferencia en los rendimientos se había reducido considerablemente.

6.2.3 Más de una crisis

Por lo expuesto hasta el momento, se comprende que en algunos casos la crisis interna del sector cafetalero precedió a la externa, especialmente en Nicaragua y El Salvador. En los restantes, hubo respuestas variadas ante la fuerte baja en las cotizaciones, las cuales obedecieron en gran medida a procesos endógenos que se originaron antes y prosiguieron después de la coyuntura negativa del mercado. También es claro que distintos tipos de caficultores se encontraban en situaciones muy disímiles, dentro de cada país, para sobrellevar los años de bajos precios. Si bien en todos los países hubo algún tipo de subsidio coyuntural, muchos caficultores se vieron en necesidad de utilizarlo para subsistir, otros para hacer frente a obligaciones financieras, y sólo algunos pudieron invertirlo directamente en la atención de los cafetales.

A pesar de que los salarios pagados en fincas guatemaltecas eran comparativamente bajos, sus propietarios no podían dejar de incurrir en ciertos costos de atención a los cafetales, recolección de la cereza, procesamiento y transporte. Quizás la crisis no haya significado pérdidas netas para la mayoría de "finqueros" guatemaltecos cuyas propiedades frecuentemente abarcaban uno o dos centenares de hectáreas. Pero sin duda redujo considerablemente sus ganancias, y para algunos conllevó problemas de liquidez. Por otra parte, los bajos precios del café desincen-

tivaron la intensificación de la caficultura hacendaria en este país, donde además prosiguieron los problemas eminentemente internos de robos, secuestros, impuestos de guerra e invasiones de fincas.⁸⁶

Para el campesinado caficultor de Guatemala, mayormente indígena y policultivista, tal parece que la coyuntura cafetalera de 1989-93 no fue una catástrofe, sino que les fue posible sobrellevarla. Por el papel secundario de la caficultura en su economía doméstica, el impacto sobre los ingresos fue menor que para caficultores más especializados. Y al ser familiar la fuerza de trabajo, estas unidades productivas tenían mayor flexibilidad laboral. Entre los ajustes observados, además de una menor atención a los cafetos, en algunos casos optaron por beneficiar artesanalmente su propio café a fin de darle mayor valor agregado.⁸⁷

En Honduras, se reportó que muchos pequeños productores no pudieron asistir adecuadamente sus cafetales en 1992 y 1993. El momento ciertamente no era propicio para impulsar la tecnificación de los cafetales hondureños: "el programa de crédito y asistencia técnica para pequeños productores, ha promovido un modelo de renovación de cafetales con una tecnología de alto rendimiento, que al final ha resultado no sustentable debido al alto costo de los insumos, especialmente agroquímicos, en contraposición al bajo precio del café recibido por los productores."⁸⁸

En Nicaragua, al derrumbarse los precios, también fracasarían los esfuerzos por tecnificar la caficultura mediante los paquetes tecnológicos promovidos oficialmente: "Distintos análisis recientes han concluido que el nivel tecnificado propuesto en las cartas tecnológicas no es rentable para el productor bajo la coyuntura actual de bajos precios internacionales del café (...) a medida que aumente el nivel de tecnificación, el costo de producir un quintal de café oro es mayor. La tasa de retorno no incentiva a los productores a la tecnificación (...)." ⁸⁹ Sin embargo, esos años difíciles fueron aprovechados por algunos inversionistas que compraron a bajo precio grandes fincas abandonadas en la región norte, que renovaron y tecnificaron.

El área cafetalera costarricense se mantuvo entre 105 y 107 mil hectáreas durante los años más difíciles, pero los rendimientos por hectárea sí

86 ANACAFE, Memoria de Labores 1995-1996.

87 Ch. E. de Suremain y J.C. Tulet, "Le café malgré la crise à San Pedro La Laguna (Guatemala)", en Geodoc, Núm. 38, 1992, p. 64-74.

88 IICA, Honduras. Diagnóstico del sector agropecuario (San José: IICA, 1995), p. 85.

89 Clemens y Simán, "Tecnología...", p. 93.

declinaron hacia el final de la crisis de mercado, sobre todo en fincas menores de cinco hectáreas⁹⁰. La razón principal parece haber sido una menor aplicación de insumos agroquímicos, aunque también se menciona el agotamiento de plantaciones, la incidencia de plagas y enfermedades, y la persistente dificultad para conseguir recolectores a pesar del significativo aporte de trabajadores nicaragüenses.

La superficie cosechada en El Salvador también se mantuvo relativamente estable, después del aumento inicial, pero la producción por hectárea se incrementó entre 1991 y 1993. A ello se sumó un conjunto de medidas fiscales y monetarias que contribuyeron al reestablecimiento de la rentabilidad de las fincas relativamente tecnificadas, a pesar de sus reducidas inversiones.⁹¹ En 1992 se otorgó un crédito de compensación, equivalente a US\$15 por quintal oro, bajo la Ley de Emergencia para la Caficultura. La moneda se devaluó cerca de 60%, y se redujo el impuesto a la exportación, al mismo tiempo que se liberalizó el comercio exterior. Las condiciones crediticias preferenciales incluyeron una readecuación y reprogramación a mediano o largo plazo de las deudas de productores cafetaleros, y el control de dos tercios del crédito agrícola por parte de un sector que aportaba sólo una cuarta parte del valor agregado agrícola, según un estudio reciente.⁹² Con políticas oficiales claramente sesgadas en su favor y en un contexto de salarios aun más reducidos desde el decenio anterior, los finqueros salvadoreños pudieron solventar los años de bajos precios, frenando la disminución del área y de los rendimientos, e incluso dieron los primeros pasos de una incipiente recuperación.

En todo el istmo, distintos tipos de caficultores reaccionaron de modos bien diversos ante la coyuntura del mercado internacional: algunos mantuvieron inalteradas sus prácticas tecnológicas, muchos redujeron la aplicación de insumos, y se realizaron algunos intentos de intensificación tecnológica, usualmente malogrados. Hubo abandono de cafetales y sustitución de cultivos, pero también poda profunda y renovación. El área cafetalera centroamericana no disminuyó, pues si bien se redujo la superficie cosechada en ciertas zonas agroecológicamente marginales, se incorporaron algunas otras aptas para este cultivo.

90 Cf. ICAFE, Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica (San José: ICAFE, 1995), p. 64.

91 Cf. Pelupessy, *El mercado...*, p. 179-183.

92 Billan, *Bilan et perspectives...*, p. 181.

6.3 *Recuperación y alternativas*

Después de 1993, las cotizaciones del grano han conocido un alza fuerte, aunque volátil, sujeta a fluctuaciones especulativas en el mercado internacional. Los cafés centroamericanos han podido beneficiarse de la misma gracias al continuado incremento de la producción, que ha llegado a situarse entre 11.48 y 12.16 millones de sacos.

Por países, el que más ha incrementado su participación absoluta y relativa ha sido Guatemala, cuya producción alcanzó en 1996-97 la cifra sin precedentes de casi 4.5 millones de sacos. En Nicaragua, la producción ha crecido recientemente de modo importante. En Honduras y El Salvador ha habido un aumento moderado, con algunas fluctuaciones, mientras que en Costa Rica la producción no parece incrementarse en forma sostenida. Quizás tenga fundamento el criterio de que en este último país puede haberse alcanzado un "umbral tecnológico" difícil de superar, y al no disponer de nuevas tierras especialmente aptas para la caficultura, tampoco es previsible un fuerte aumento de la producción por incorporación de áreas adicionales en los próximos años. En Honduras y Nicaragua, la disponibilidad de suelos cafeteros permite visualizar una continuación del crecimiento asociado a la colonización agrícola durante algunos años, aparejado a modestos incrementos en los rendimientos de algunas unidades productivas en ciertas zonas cafetaleras. Tanto en El Salvador como en Guatemala, aunque por distintas razones históricas, hay todavía opciones para mejorar la productividad por hectárea, en el primer caso a través de la renovación de cafetales y la reinversión en los mismos, y en el segundo mediante una transición gradual del modelo extensivo aún predominante hacia otro más tecnificado, aunque sin aproximarse al nivel de insumos característico de la caficultura costarricense.

Resultaría aventurado pronosticar la evolución futura del mercado mundial, pues si por una parte existe la posibilidad de que aumente gradualmente el consumo en regiones como Asia o Europa oriental, y el fuerte consumo interno brasileño tiende a reducir las exportaciones del principal productor mundial, por otra parte hay nuevos y vigorosos oferentes como Vietnam, cuya producción aumenta vertiginosamente mediante la incorporación de nuevas áreas y el logro de rendimientos elevados. En el propio continente americano, Colombia procura incrementar sus exportaciones, y México tiene acceso privilegiado al mercado estadounidense.

Para los cafés centroamericanos, su calidad y su posicionamiento en nichos de mercado podrían jugar un papel cada vez más importante en el

futuro. Por otra parte, la historia reciente de nuestras caficulturas ha mostrado que su dinamismo no responde exclusivamente a las tendencias y coyunturas del mercado internacional, sino que obedece en gran medida a situaciones eminentemente internas. Las que han incidido más negativamente han sido los prolongados conflictos político-militares, la inestabilidad social y ciertas políticas macroeconómicas. Del lado positivo, la incorporación de tierras aptas en fronteras de colonización ha sido un motor de crecimiento extensivo, y bajo condiciones propicias se han logrado -por vías plurales- considerables avances tecnológicos.

Es posible que el café no tenga en las próximas décadas, para Centroamérica en su conjunto, el mismo peso económico que tuvo en el pasado, aunque pueda seguir jugando un papel fundamental durante cierto tiempo en uno o más países. Pero en todo caso, será un componente significativo del comercio exterior del istmo, y mantendrá una muy considerable importancia social por el gran número de unidades productivas en que se cultiva y por los ingresos que genera para muchas familias campesinas. Así, la exploración continuada y participativa de opciones tecnológicas apropiadas para ese heterogéneo conglomerado reviste una gran trascendencia actual y futura.

Bibliografía

- "Café al sol". 1956, Revista Cafetalera, pp. 16-17.
- "El Dr. Jorge León deja el Centro de Turrialba". 1962. *Café*, vol. IV- 13, abril-junio, p. 57-58.
- "La caficultura salvadoreña". 1991. Mimeografiado.
- "La tierra templada en la América Central. Relación hecha por Jaime Villar. Caracas, 1744", 1958. *Anales de la Sociedad de Geografía e Historia*, (Guatemala), año XXXI, Núm. 1 al 4, enero a diciembre, p. 68.
- Aguilar, J.; Barboza, C.; León, J. 1982. El desarrollo tecnológico del café en Costa Rica y las políticas científico tecnológicas. San José, CONICIT.
- Aguilar, M. 1986. Memoria sobre el cultivo del café. *Revista de Historia* (Costa Rica), no. 4, julio-diciembre, p. 207-208.
- Alvarado, J.A. 1936. Tratado de caficultura práctica. Guatemala, Tipografía Nacional, tomo II.
- ANACAFE (Asociación Nacional del Café). 1995-1996. Memoria de Labores. Guatemala. Documento interno.
- Avellaneda, R.; Ramírez, J.; Echeverri, E. 1995. Informe sobre la caficultura de Costa Rica, Guatemala, El Salvador y Honduras. Bogotá, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Mimeo.

- Banco Central de Nicaragua, Vice-Gerencia de Planificación. 1993. Cuadros "Tecnología tradicional", "Tecnología semi-tecnificada" y "Tecnología tecnificada". Managua. Mimeo. Sin paginación.
- Baumeister, E.; Wattel, C. 1994. Migraciones e inserción ocupacional de los cafetaleros en Honduras. *Revista de Historia (Costa Rica)*, no 30, julio-diciembre, p. 145-163.
- Billan, P. 1998. Bilan et perspectives de la filière café au Salvador. *Plantations, recherche, développement* 5:3, p. 177.
- Castro Magaña, M. 1989. Caficultura guatemalteca y costos de producción. ANA-CAFE, Guatemala. Mimeo. Sin paginación.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1958. El café en América Latina. Problemas de la productividad y perspectivas. I. Colombia y El Salvador. México. Sin paginación.
- Clemens, H.; Simán, J. 1994. Tecnología y desarrollo del sector cafetalero en Nicaragua. *Revista de Historia. Costa Rica*, no. 30, julio-diciembre, p. 69-101.
- de Groot, Jan P.; Ruben, R. 1990. Sistemas de producción y transferencia de tecnología en la economía cafetalera de Centroamérica. San José, C.R., Universidad Libre de Amsterdam, Oficina Regional en Centroamérica. Mimeo.
- de Suremain, Ch.E.; Tulet, J.C. 1992. Le café malgré la crise à San Pedro La Laguna (Guatemala). *Geodoc* 38: 64-74.
- Dumont, A. 1822. Consideraciones sobre el cultivo del café en esta isla. La Habana, Cuba.
- Duque, J.P. 1952. Costa Rica, Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Informe del Jefe del Departamento Técnico sobre su viaje de estudio a algunos países cafeteros de la América Central. *Revista Cafetera de Colombia* 7(102): 2295-2460.
- EDUCA. 1998. Producción cafetalera y poder político en Centroamérica, San José, C.R.
- Fernández, C.E. 1959. Información sobre los trabajos en las instituciones de investigación. Chicolá, Guatemala. *Café. Servicio Técnico de Café y Cacao (Turrialba, Costa Rica)* 1(3): 55-58.
- Guerra-Borges, A. 1993. El desarrollo económico. In *Historia General de Centroamérica*. Madrid, Siruelas. Tomo V.
- Guiscafré-Arrilaga, J.; Cordon, J.; Castellanos, S. 1955. Siembra de cafeto al sol en barreras auto-sombreadas. In: *El Café de El Salvador* 25(280-281): 127-141.
- Hidalgo, G. 1996. Investigación y producción de café en Costa Rica. In *Sintercafé. X International Coffee November 9-13th*. Mimeo.
- ICAPE. 1995. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José. 64 p.
- IDRC-CRDI-CIID. 1987. Prioridades de Investigación Aplicada en el Café para Pequeños Agricultores. Seminario-Taller. Costa Rica. Mimeo.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1995. Honduras. Diagnóstico del sector agropecuario. San José, C.R. 85 p.
- Informe cafetalero de técnicos mexicanos. 1953. San Salvador. FEDECAME.

- Jiménez, A. 1978. Algunas ideas sobre comercialización de cafés naturales y el serio problema del merodeo. San José, C.R., Oficina del Café.
- Laborie, P.J. 1797. *The Coffee Planter of Saint Domingo*. Londres, T. Cabell y W. Davies.
- Méndez, J.C.; Benoit-Cattin, M. 1994. Intensificación de la caficultura de los pequeños productores de Guatemala. Una tipología. *Café Cacao Thé* 38(2): 125-133.
- Ministerio de Agricultura y Cría. 1992. El Salvador. El sector agropecuario en cifras y gráficos. San Salvador.
- Molina, I. 1991. Costa Rica (1800-1850). El legado colonial y la génesis del capitalismo. San José, Universidad de Costa Rica.
- Montealegre, M. 1954. Cafetales a pleno sol versus cafetales a la sombra. *Suelo Tico* 7:253-275.
- Montenegro, G.; Cerdón, J.A. 1953. Cultivos del café en Hawaii. *Revista Cafetalera (Guatemala)* 5: 9-22.
- Naranjo, C. 1997. La modernización de la caficultura costarricense, 1890-1950. Tesis de Maestría Centroamericana en Historia. San José, C.R., Universidad de Costa Rica.
- _____; Samper, M.; Sfez, P. 1998. Entre la tradición y el cambio: Evolución tecnológica de la caficultura costarricense. Heredia, C.R., UNA, IPGH.
- Oficina Panamericana del Café. 1970. Anuario Estadístico Cafetero, no. 34. Nueva York, EE.UU., OPC.
- OIC. 1992. *Coffee Statistics, October-September 1985-86 to 1990-91*. Londres, Reino Unido.
- _____. 1997. Monografía cafetera. Costa Rica. Londres, Reino Unido.
- Parada Alcántara, A. 1956. Observando el cultivo del café en El Salvador. *Revista Cafetalera (Guatemala)* 1,2: 71-73.
- Pelupessy, W. 1993. El mercado mundial del café. El caso de El Salvador. San José, C.R., DEL.
- Pérez de la Riva, F. 1944. El café. Historia de su cultivo y explotación en Cuba. La Habana, Imprenta Marticorena.
- Pérez, V. 1983. Treinta y dos años de investigación sistemática y transferencia tecnológica del cultivo del café en Costa Rica. 1950-1982. San José, Oficina del Café.
- República de Honduras. 1952. Primer censo agropecuario, 1952. Tegucigalpa, Dirección General de Censos y Estadísticas.
- Rojas Chaves, G. 1998. Café, ambiente y sociedad en la cuenca del río Virilla, Costa Rica (1840-1955). Tesis de Maestría en Historia. San José, C.R., Universidad de Costa Rica.
- Rubio, J.F. 1965. Impresiones de Costa Rica: Un interesante viaje de don Arturo Falla. *Revista Cafetalera* 43: 17-19.
- Samper, M. 1994. Café, trabajo y sociedad. In *Historia General de Centroamérica* (Madrid, Esp., Siruelas). Tomo IV.
- _____. 1994. Modelos vs. prácticas. Acercamiento inicial a la cuestión tecnológica en algunos manuales sobre caficultura, 1774-1895. *Revista de Historia (Costa Rica)* no. 30.

M. Samper K.

- Thomas, F.; García, F. 1991. El mejor café del mundo. Guatemala, ANACAFE.
- UNCTAD/GATT. 1992. Café. Guía del Exportador. Ginebra, Suiza, Centro de Comercio Internacional.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 1979. Coffee production and trade in Latin America.
- Vilanova, T., 1949. Uso y efectos del mulch en las plantaciones de café. El Café de El Salvador 19(220): 1713-1719.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO DE CAFÉ EN AMÉRICA CENTRAL

Carlos E. Fernández, PROMECAFE
Reinhold G. Muschler, GTZ/CATIE*

1 *Introducción*

El café llegó a Centroamérica hace poco más de dos siglos (Rubio Sánchez, 1954; Wrigley, 1988). En este tiempo, relativamente corto considerando que la vida útil de un cafeto puede superar 30 años, el café impactó no solamente el mosaico biológico del uso de la tierra pero también la vida social y la economía tanto familiar como regional (Hall, 1976; Ridler, 1982; Fonseca, 1996). Este capítulo trata de resumir las principales etapas del manejo de café a través de su historia en Centroamérica. En la primera sección, se describe el manejo "tradicional" de cafetales sin o con pocos insumos externos. La segunda sección es dedicada a la caficultura intensiva, impulsada por la "Revolución Verde" de las últimas cinco décadas. En la tercer sección contrastamos los potenciales y limitaciones de ambos sistemas. Este contraste forma la base para proponer prioridades de trabajo para ayudar a impulsar una caficultura ecológicamente sostenible y económicamente atractiva.

* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Apartado 55-2200. Coronado, Costa Rica. Tel.: (506) 216-0222.

2 *La Caficultura Tradicional*

Durante el siglo pasado y hasta la década de los cuarenta de nuestro siglo, los cafetales de Centro América tenían pocas variedades comerciales de *Coffea arabica* L. La mayoría de los cafetales eran de *C. arabica* var *Typica* y en menor grado Bourbón, Maragogipe y otras de menor importancia (Lock, 1888; Alvarado, 1935; FNC, 1932). Eran plantas con gran uniformidad (Robinson, 1996; capítulos 11 y 12 de este libro) que crecían muy alto debido a su genética y a la ausencia común de poda. En muchas partes era indispensable el uso de escaleras para la cosecha. Las características más importantes de estos sistemas eran la baja densidad de siembra (hasta más de 3 metros entre plantas y entre surcos) y el intenso sombreado del café por los árboles asociados (Lock, 1888; Alvarado, 1935). En la mayoría de las fincas, las densidades variaban entre 500 y 800 plantas por hectárea y las producciones por área eran muy bajas, de 300 a 500 kilos por hectárea. Sin embargo, la productividad del trabajo era relativamente alta. Mientras que la producción de una arroba de café pergamino seco (12.5 kg) en Colombia requería de menos de 7 horas de labores de cultivo antes de 1954, se necesitaban más de 18 horas para cafetales "transformados" a partir de 1955 (Machado, 1959). Aunque esto representa un aumento de los costos muy fuerte, se podría interpretar como positivo desde la perspectiva de la generación de empleo rural.

Había plantaciones debajo de bosques "raleados", denominadas "bajo sombra natural" (Lock, 1888), pero se recomendaba el uso de sombra con árboles plantados con este propósito, típicamente de Musáceas o leguminosas (Alvarado, 1935 y foto 2-1). Para banano se recomendó una distancia de más o menos siete metros entre plantas. En el caso de las leguminosas la recomendación típica era de sembrar un árbol de sombra por cada tres cafetos, o sea alrededor de 200 árboles por hectárea. Ejemplos de estos sistemas de alta diversidad y bajos o cero insumos externos se pueden encontrar hasta hoy día donde la intensificación no pudo tener un impacto fuerte. En todos los países centroamericanos se pueden encontrar ejemplos de estos sistemas (Espinoza, 1985; Beer *et al.*, 1998).

La mano de obra, que incluía esclavos en Brasil durante el siglo pasado (Lock, 1888), se empleaba con abundancia, pues era aún relativamente barata. Contra plagas y enfermedades se aplicaban remedios naturales como la infusión de hojas de tabaco como insecticida y, a lo más, caldo bordelés o sulfato de cobre para controlar a las enfermedades (FNC, 1932). Aparte de estas sustancias, el uso de agroquímicos o fertilizantes era prácticamente nulo.

Hasta los años cuarenta de nuestro siglo la investigación y experimentación en café en América Central fue más a título personal que institucional. Por lo tanto, fue aislada, esporádica y sin unidad de propósito. Nombres como F. Choussy de El Salvador, J. Carranza Solis y F. Serravalli de Costa Rica, o J.A. Alvarado de Guatemala deben destacarse como pioneros en la experimentación cafetalera en América Central. A partir de este tiempo, se empezó a consolidar la investigación sistemática y hubo mayor difusión de resultados a través de instituciones y publicaciones internacionales. Se iniciaron discusiones científicas sobre las interacciones entre el ambiente y el vigor, el crecimiento y la producción de café (Cohen, 1935; Rodríguez, 1935; Nutman, 1937a y b) que condujeron hacia una nueva etapa de la caficultura: la intensificación a través de fuertes modificaciones ambientales : se fundamentó principalmente en el uso intensivo de agroquímicos.

3 La "Tecnificación" de la Caficultura

A mediados de la década de los cuarenta, se establecieron en América Central los servicios cooperativos de Investigación y Extensión con la colaboración del Gobierno de los Estados Unidos. Con estas instituciones, se inició una investigación sistemática sobre café y se establecieron las primeras colecciones de variedades. Las primeras introducciones de café al banco de germoplasma del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) en Turrialba, Costa Rica, se hicieron en 1949 de semillas provenientes de Guatemala (PROMECAFE, 1990). De esta manera, se iniciaron esfuerzos para ampliar la variabilidad genética de café en la región, dado que la base genética de las primeras introducciones al Neotrópico fue muy estrecha (Wrigley, 1988; Robinson, 1996 y capítulo 11 en este libro).

En los años cuarenta y cincuenta, se iniciaron trabajos dirigidos hacia la nutrición de café, el reconocimiento de síntomas de deficiencias y la corrección de éstas (Tanada, 1946; Cain, 1956; Müller, 1959a y b) y se realizaron estudios sobre el control de la floración y de la fructificación (Piringer y Borthwick, 1955; Alvim, 1958). Se impulsó la experimentación sobre efectos del sol y de la sombra (Tanada, 1946; Montealegre, 1954; Guiscafre-Arrillaga, 1957), y se inició una serie de estudios fisiológicos en relación al manejo agronómico (Machado, 1959; Robinson y Mitchell, 1964; Nunes *et al.*, 1968). Se estudiaron las épocas de crecimiento y los

factores que determinan la fenología de la planta (Suárez de Castro *et al.*, 1961; Castillo y López, 1966; Pérez, 1977). Se experimentó con nuevos sistemas de poda y manejo general de las plantas (Machado, 1959; Pérez, 1977). Basado en los resultados de estos estudios en diferentes países, resumidos por Guiscafren-Arrillada (1957) y Ostendorf (1962), se comprobó que era posible aumentar la productividad por área al cambiar el manejo de plantaciones drásticamente. Dependiendo del ambiente y de la condición de los cafetos, este aumento podía ser de sólo un 10% (Pérez, 1977) o hasta mucho más de 30%, aunque, a veces, a costo de una menor calidad de grano a pleno sol (Suárez de Castro *et al.*, 1961; Abruña *et al.*, 1966) y a un costo elevado por el uso intensivo de insumos (Hall, 1976; Pérez, 1977; Boyce *et al.*, 1994).

En primer lugar se aumentó considerablemente el número de plantas por área, incrementando de esa manera el índice de área foliar (Machado, 1959). Además aumentó la luminosidad a través de podas intensivas o de la eliminación total de los árboles de sombra (fotos 2-2 y 2-3).

El uso de variedades de porte bajo no sólo permitió una mayor densidad de siembra, sino también facilitó muchas de las labores culturales y la cosecha por el tamaño reducido de las plantas. Sin embargo, para satisfacer las altas demandas nutricionales de los cafetos bajo esas condiciones (Müller, 1959a), se hizo indispensable el uso intensivo de fertilizantes y el combate de toda competencia potencial por malas hierbas u otras plantas. El desarrollo y uso de los herbicidas facilitó este control, aunque tiene costos económicos y ambientales bastante elevados. La variedad Caturra, proveniente de Brasil, fue la que mejor se adaptó a esta nueva modalidad (Carvajal, 1984).

El conjunto de esos cambios transformó radicalmente la fisionomía del cafetal. Los rendimientos aumentaron fuertemente, con respecto a los que se obtenían en los sistemas tradicionales. En Costa Rica, por ejemplo, Pérez (1977) reporta un aumento en la producción por hectárea de 363 kg de café oro en 1950 a 1010 kg de café oro en 1974. Otros 20 años después, la producción promedia es aún más alta con 1470 kg de café oro por hectárea (ICAFFE 1996). Sin embargo, para interpretar estas cifras correctamente, hay que considerar los costos involucrados que deben incluir, además del incremento en el precio de producción, los efectos ambientales del uso de los insumos (Boyce *et al.*, 1994; sección 4.1 de este capítulo).

La "tecnificación" de la caficultura fue, sin lugar a dudas, una de las transformaciones más dramáticas que se han dado con un cultivo tropical.



Foto 2-1. Un cafetal tradicional con sombra alta de árboles de sombra de *Erythrina poeppigiana*.



Foto 2-2. Un cafetal "tecnificado" sin sombra (poda de todas las ramas de los árboles de sombra dos veces al año). En el fondo *Erythrina poeppigiana* en floración.



Foto 2-3. Cafetal cerca de Turrialba (Costa Rica) sin sombra después de una poda total de los cafetos. Peligro de degradación ambiental por exposición del suelo.

Se desarrolló un “paquete tecnológico” sumamente eficiente. Sin embargo, el éxito de paquete es típicamente limitado a condiciones ambientales adecuadas, sobre todo de suelo y clima, y al uso de todos sus componentes. Algunos caficultores usaron sólo una parte del paquete con resultados catastróficos. Por ejemplo, fue frecuente la supresión de los árboles de sombra sin que se consideren los otros componentes del “paquete tecnológico”, o bien la introducción de nuevas variedades sin el uso de agroquímicos requerido.

El paquete tecnológico, implementado en su conjunto y en situaciones ambientales óptimas, resultó muchas veces muy efectivo (ICAFE, 1996), por lo menos a corto o mediano plazo de una o dos décadas, cuando todavía no se manifiestan los efectos de la degradación y de la contaminación ambientales (Boyce *et al.*, 1994).

La década de los cincuenta fue de expansión, ya que los precios eran altos y nuevas tecnologías estaban disponibles. Esto causó un aumento muy fuerte en la disponibilidad de café en el mercado, por lo que los precios bajaron vertiginosamente, haciendo que durante los años sesenta el mundo cafetalero viviera una de sus más severas crisis. Estando en pleno funcionamiento la Organización Internacional del Café, se establecieron cuotas de exportación y se intentó, sin mucho éxito, erradicar cafetales y propiciar la diversificación (BCCR, 1973). Precios inestables, resultado de fluctuaciones fuertes de la producción mundial, y la reducción del precio

del café (en valores corregidos por la inflación) han formado el marco en el que se desenvuelve la caficultura hasta hoy día. Este marco se mantendrá probablemente también en los próximos años (Seudieu, 1997).

Para poder comparar las dos sistemas de manejo presentados, es necesario establecer los beneficios y costos de cada uno.

4 Comparación de Dos Paradigmas de Producción

Los dos sistemas de producción tienen sus méritos y sus costos. El hecho de que el sistema tradicional ha sobrevivido en muchas zonas cafetaleras, incluso en países con un alto nivel de "tecnificación" como Costa Rica (Alvarado y Rojas, 1992), es evidencia clara de que este sistema ofrece una buena alternativa en ciertos casos. Se tiene que analizar y entender las circunstancias en las cuales éste es el caso, y entender cuales son los criterios que usan los caficultores locales para evaluar el éxito de un sistema. Por ejemplo, un sistema que produce 1000 kg/ha de café oro puede tener dos evaluaciones distintas dependiendo del criterio usado. Desde la perspectiva "productivista, es una productividad relativamente baja. Sin embargo, desde la perspectiva de un caficultor pequeño con recursos limitados o de un productor orgánico, este sistema puede ser atractivo si, por el hecho que requiera pocos insumos, logra generar un ingreso aceptable. Las siguientes secciones tratan de resumir las ventajas y costos principales de ambos sistemas. Esto nos permitirá identificar las condiciones necesarias para el desarrollo de una caficultura sostenible y atractiva.

4.1 Ecología

Existe un larga serie de elementos que fundamentan la idea según la cual el sistema tradicional de cultivo de café tiene mayor estabilidad ecológica que un monocultivo: los sistemas tradicionales no solamente conservan, en una manera similar a un bosque, una gran diversidad de plantas y animales (Gallina *et al.*, 1996; Perfecto *et al.*, 1996), sino que son capaces de moderar el microclima (Barradas y Fanjul, 1986), de controlar las malezas (Goldberg y Kigel, 1986), de retener el agua, de reducir erosión, de mantener la fertilidad y la materia orgánica del suelo y de aprovechar los recursos del sitio al máximo (Suárez de Castro y Rodríguez,

1955a y b; Ewel, 1986; Valencia y Salazar, 1993). Los sistemas tradicionales son más conservadores en el sentido de que pueden sostenerse básicamente con los mismos recursos del sistema, los cuales son reciclados permanentemente. Este caso no es tan común con cafetales "intensificados", por su fisionomía simplificada.

4.1.1 Biodiversidad

Un sistema de producción donde se adoptó el paquete tecnológico de la intensificación, incluye herbicidas, fungicidas, insecticidas, eventualmente nematicidas y grandes cantidades de fertilizantes al suelo y foliares. Cualquier planta que no sea café es considerada indeseable, por su competencia potencial. Consecuentemente, se intenta eliminarlas. La desaparición, tanto las malezas debajo del café, como de los árboles de sombra arriba, trae consigo varias consecuencias para el sistema. Entre estas consecuencias figura la disminución drásticas de la diversidad de aves (Wille, 1994; Greenberg *et al.*, 1997), de hormigas y de otros insectos que pueden ser depredadores, así como arañas y parasitoides (Perfecto y Snelling, 1995; Perfecto *et al.*, 1996), de mamíferos (Gallina *et al.*, 1996), y probablemente de microorganismos con diferentes funciones.

En contraste, cafetales tradicionales pueden tener niveles de diversidad casi similares a bosques (Perfecto *et al.*, 1996). Aunque la discusión sobre las relaciones entre la diversidad de un ecosistema y su estabilidad o funcionamiento ecológica continúa (p. ej. Schulze y Mooney, 1994), es probable que una mayor diversidad microbiana podría contribuir en el control biológico de plagas y enfermedades. Los conocimientos sobre las posibles consecuencias de la pérdida de la biodiversidad son todavía muy rudimentarios. Sin embargo, parece que algunos problemas de los cafetales intensificados como las epidemias de ciertas enfermedades, p.ej. antracnosis (*Colletotrichum* spp.) y Chasparria (*Cercospora coffeicola*), se deben, al menos parcialmente, a las consecuencias de la disminución de la biodiversidad. La materia orgánica, en gran parte a través de un estímulo de la diversidad y actividad microbianas, puede contribuir fuertemente a suprimir muchas enfermedades de las plantas (Hoitink y Fahy, 1986; Hoitink *et al.*, 1997). Los problemas relativamente recientes causados por nematodos en cafetales intensificados (Araya, 1994) podrían ser otro ejemplo de los efectos negativos de un manejo intensivo. Sin embargo, no hay suficiente información en este momento para poder corroborar o rechazar estas hipótesis. No obstante, hay mucha información científica

sobre la importancia de una mayor diversidad de especies de plantas y de un suelo "sano" para establecer sistemas de producción sostenibles (e.g. Ewel, 1986; Huston, 1993; Doran *et al.*, 1996).

4.1.2 *Suelo y agua*

Estudios recientes en la zona cafetalera de Colombia demostraron muy altas tasas de erosión en suelos inclinados de origen volcánico. En solo dos años, se perdieron hasta 3.4 cm de suelo en un campo sin vegetación de menos del 12% de inclinación (Ruppenthal *et al.*, 1996). Este trabajo indica el peligro de algunas prácticas como la poda por lote de cafetales (foto 2-3), la cual está siendo promocionada como parte de un paquete tecnológico de alta producción. Rice (1991), en sus estudios en Nicaragua, observó que aunque el régimen de lluvias no había cambiado en la región de Carazo, las plantaciones intensivas tenían 72% menos humedad en el suelo que las plantaciones tradicionales. Este efecto puede ser importante en zonas con limitaciones de agua. También, la hojarasca, proveniente de los árboles de sombra (Russo y Bodowski, 1986), puede contribuir a la conservación de la humedad y de la fertilidad del suelo (Suárez de Castro y Rodríguez, 1955a y b). En el estudio de Rice (1991), se encontró que la hojarasca acumulada en el suelo fue de tan solo 7.8 toneladas por hectárea en un cafetal intensivo, mientras que en el tradicional, se acumularon 12 toneladas. Según Beer (1988), árboles de sombra pueden aportar entre 5 y 10 toneladas de materia orgánica por hectárea y por año. Estos aportes resultan en niveles más altos de materia orgánica y, por ende, en una capacidad de intercambio catiónico y una fertilidad más alta en sistemas con árboles de sombra comparados con sistemas a pleno sol (Suárez de Castro y Rodríguez, 1955b; Rice, 1991). El papel y la importancia de la materia orgánica son temas desarrollados en el capítulo 4 de este libro.

4.1.3 *Beneficios de los árboles asociados para el café*

Con el entusiasmo sobre la intensificación de la caficultura, se desarrolló una discusión en torno a la utilidad de la sombra para maximizar la producción de café. Otro tema de controversia concernía la naturaleza del café, planta de sol o de sombra (p.ej., Montealegre, 1954; Guiscafre-Arrillaga, 1957; Ostendorf, 1962; Willey, 1975; Kumar y Tieszen, 1980; Fournier, 1988). Como algunos estudios mostraron que el café podía

producir más sin sombra, se generalizó rápidamente este resultado y la conversión de cafetales de sombra a sol comenzó (Machado, 1959). Desafortunadamente, en muchos casos, como por ejemplo en la zona cafetalera de Turrialba en Costa Rica, no se modificaron las recomendaciones para los cafetos creciendo en un ambiente sub-óptimo para el café. En comparación con las condiciones de la Meseta Central, las temperaturas son más altas, la estación seca es menos pronunciada y los suelos tienen más limitaciones por pedregosidad y acidez. En estas condiciones, el aporte de árboles de sombra es mayor que en condiciones óptimas de la meseta Central.

En un estudio de 10 años enfocado en la interacción entre sombra de *Erythrina poeppigiana* (descumbrada dos veces por año) y diferentes niveles de fertilización, se reportó que las parcelas con *Erythrina* produjeron la misma cantidad de café con aproximadamente la mitad de los fertilizantes que las parcelas al sol (Ramírez, 1993). Resultados similares vienen de un estudio comparativo de efectos de diferentes niveles de sombra, en la misma región de Turrialba. En dos cosechas seguidas, parcelas bajo sombra homogénea de 40 a 60% producida por *Erythrina poeppigiana* produjeron las mismas cosechas totales que parcelas al sol o bajo *Erythrina* podada completamente tres veces al año (Muschler, 1997a). Tomando en cuenta los porcentajes de fruto "chasparreado" o "momificado" (foto 2-4), el café bajo sombra intermedia homogénea superó las parcelas con menos sombra. Además las plantas bajo sombra intermedia homogénea se mantenían en mejores condiciones vegetativas, los suelos estaban protegidos por la sombra y la hojarasca, y las malezas estaban controladas sin necesidad de labores de control. El control de malezas cuesta aproximadamente el doble que el manejo de árboles de sombra (cálculo basado en datos de Rojas 1996), por lo que se ahorró. Un estudio de la calidad del café con y sin sombra reveló un efecto positivo de la sombra (Muschler, 1998a). Los granos producidos en la sombra fueron significativamente más grandes (figura 2-1 y foto 2-4) y con mejor calidad organoléptica, tanto por la variedad Caturra como, con diferencias más notable, por el Catimor 5175 (figura 2-2). Un efecto positivo de la sombra sobre la calidad de la bebida fue detectado también en Guatemala (Guyot *et al.*, 1996).

Los árboles de sombra permiten también moderar los factores microclimáticos (Barradas y Fanjul, 1986), lo que puede resultar benéfico. En el sur de Brasil, por ejemplo, existe un interés creciente en el asocio de árboles para reducir los daños provocados por las heladas (Caramori *et al.*, 1996; Baggio *et al.*, 1997).

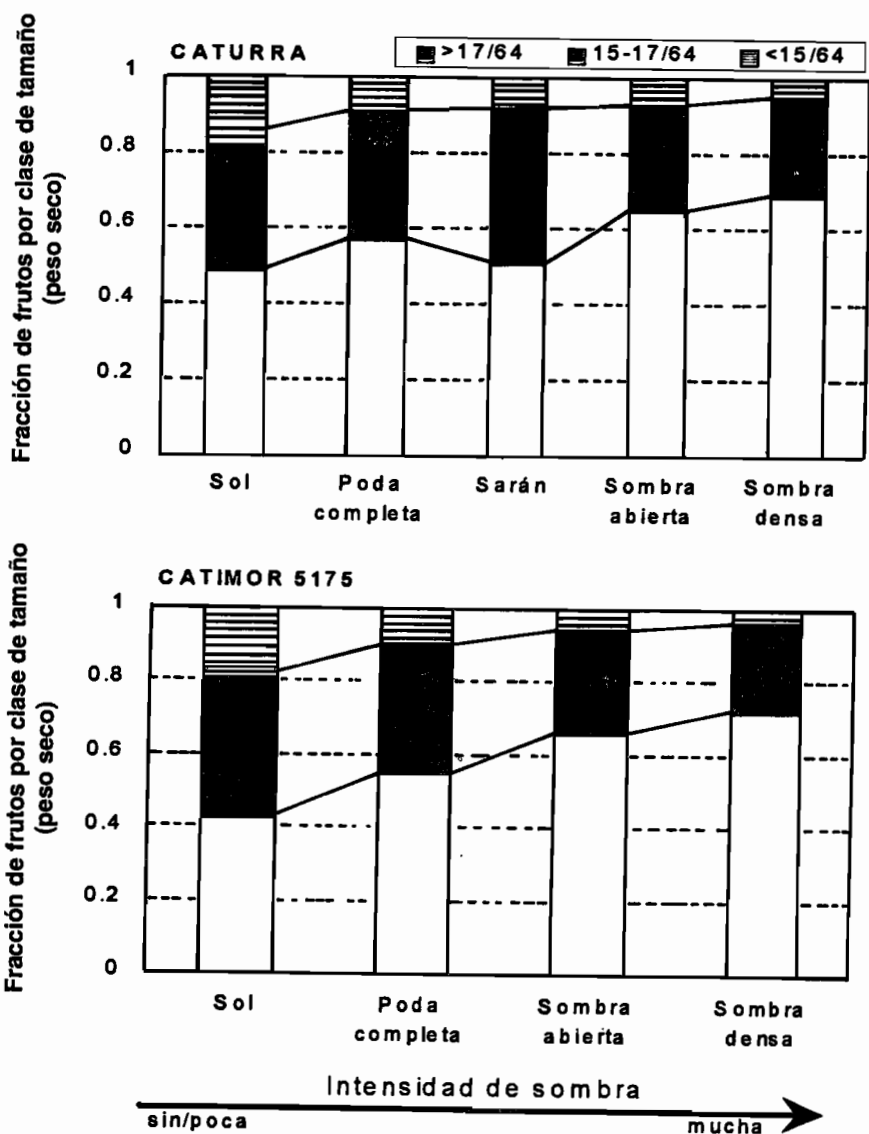


Figura 2-1. Contribuciones relativas de granos de diferentes tamaños al café cosechado bajo diferentes niveles de sombra de *Erythrina poeppigiana* en Turrialba, Costa Rica (Muschler 1998a).

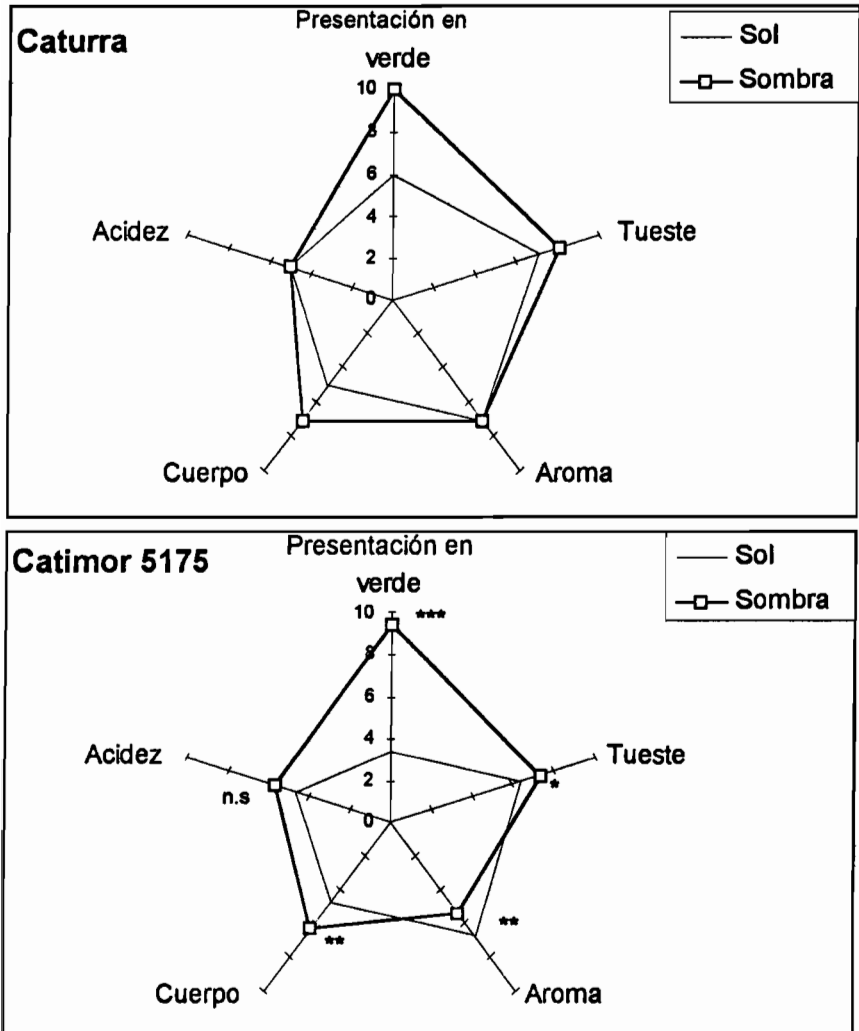


Figura 2-2. Atributos organolépticos de *Coffea arabica* var. Caturra y Catimor 5175 desarrollado y cosechado sin sombra o con más del 50% de sombra de *Erythrina poeppigiana* (Muschler 1998a).

4.2 El uso de sombra o sol: una decisión específica para cada sitio

En la literatura hay una larga discusión sobre las funciones de la sombra en el cultivo del café (Cook, 1901; Guiscafre-Arrillaga, 1957; Ostendorf, 1962; Willey, 1975; Beer, 1987; Beer *et al.*, 1998). Sin embargo, se han hecho pocos esfuerzos para organizar los diferentes factores que un caficultor tiene que tomar en cuenta para escoger entre los dos sistemas de cultivo. Según Muschler (1997b), los factores principales se pueden organizar en tres grupos (figura 2-3): (1) los objetivos del productor, (2) los factores ambientales del cafetal, y (3) los insumos al alcance del caficultor para mejorar los factores ambientales. Estos tres grupos representan, en el mismo orden, (1) los factores de preferencias personales que varían con el productor y posiblemente con el tiempo, (2) los factores que no se pueden cambiar simplemente (p.e. suelos pedregosos) y, finalmente, (3) algunas herramientas para ajustar o modificar los factores ambientales dentro de ciertos límites.

Parte de las contradicciones de los estudios sobre efectos de sombra pueden ser explicadas por las distintas condiciones ambientales y ecológicas en las que se realizaron. Los efectos más importantes que interfieren con el efecto de sombra sobre la producción de café son probablemente las condiciones del suelo y la elevación sobre el nivel del mar, la cual determina, en gran parte, el patrón climático (Wrigley, 1988). Para poder comparar los resultados de los diferentes trabajos sobre el efecto de la sombra, es necesario desagregar los resultados en función de estos factores ambientales. La figura 2-4 representa los efectos idealizados (y, todavía, hipotéticos) de la elevación y del suelo sobre el efecto de la sombra (Muschler, 1997b y 1998b).

Para suelos "buenos", generalmente profundos y con altos niveles de nutrientes, parece que existe una elevación "óptima" para el café, donde produce más sin sombra, dado que no hay limitaciones ambientales (panel A de la figura 2-4)

Hacia alturas menores, las temperaturas suben y así el estrés ambiental para los cafetos. En estas condiciones, el café tiende a producir más bajo sombra intermedia. Estudios fisiológicos apoyan esta proyección (p.ej., Nutman, 1937a; Nunes *et al.*, 1968; Kumar y Tieszen, 1980). La sombra ayuda a reducir el estrés ambiental.

Para elevaciones muy altas, la presencia de árboles beneficia al café, ya que permite reducir el estrés ambiental provocado en este caso por los fuertes vientos y las bajas temperaturas (panel A de la figura 2-4).

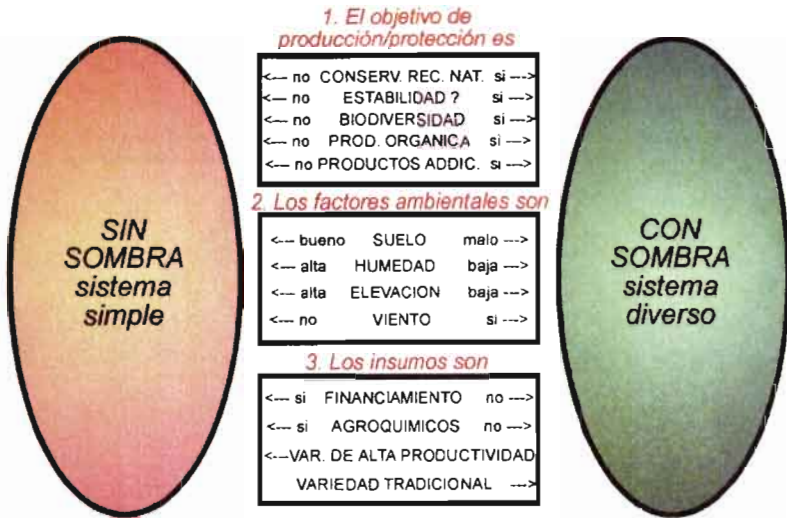


Figura 2-3. Los tres grupos principales de factores que determinan la decisión de si se cultiva café con o sin sombra. La combinación de factores determina la densidad y diversidad de los árboles asociados (Muschler 1997a).



Foto 2-4. La sombra mejora la calidad de frutos en cereza del Catimor T5175 a 700 msnm.

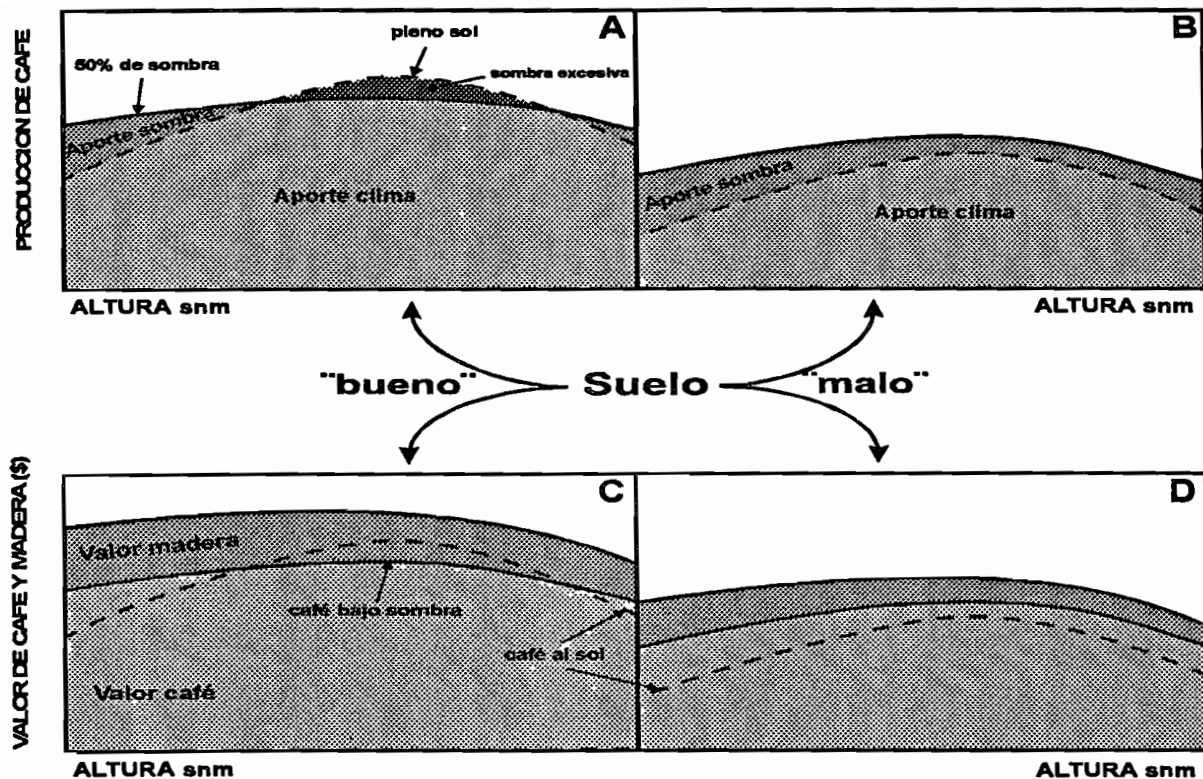


Figura 2-4. Esquema idealizado del aporte biológico de árboles que dan 50% de sombra (A, B) y del aporte financiero de maderables (C, D) en cafetales en función de la altura sobre el nivel del mar y para suelos "buenos" y "malos" (Muschler 1997c).

En condiciones de suelos "malos", o sea con fuertes limitaciones por pedregosidad o factores químicos, es muy probable que la sombra pueda beneficiar al café en casi todas las elevaciones: la banda de aporte de la sombra es más gruesa (panel B de la figura 2-4). Si se siembra una especie maderable para dar un nivel intermedio de sombra, se agrega el valor de la madera al valor de la producción de café (paneles C y D de la figura 2-4). De esta forma, los sistemas combinados con maderables pueden superar los ingresos de cafetales sin árboles en casi todos los ambientes. Esto es una de las razones principales para incentivar la siembra de árboles maderables en cafetales (Beer *et al.*, 1997).

4.3 Uso de insumos

La intensificación de la caficultura ha traído consigo una mayor contaminación ambiental, debido al uso cada vez mayor de agroquímicos: fertilizantes para aumentar el crecimiento del café y pesticidas para reducir las poblaciones de organismos dañinos, sobre todo insectos, hongos, hierbas agresivas y nematodos. El uso de fertilizantes en una plantación al sol, con una densidad de cinco mil plantas por hectárea y rendimientos de 2500 o 3000 kilos de café por hectárea, tiene que ser necesariamente muy intenso y puede alcanzar 1000 a 1500 kg/ha⁻¹/año⁻¹ (ICAFE-MAG, 1989) con un potencial de contaminación considerable.

Las plagas y enfermedades del café en plena exposición solar suelen ser muy severas, particularmente si la fertilización es deficiente o excesiva (Pérez, 1974); es el caso de la Chasparria o de la roya (este libro, capítulo 6). Se asigna el 15% del total del costo de producción a nematicidas en ciertas plantaciones intensivas en América Central. El uso de herbicidas en estas plantaciones es generalizado, particularmente donde la disponibilidad de mano de obra es limitada (Alvarado y Rojas, 1992). Los efectos del uso intenso y durante varios años de herbicidas no han sido estudiados. Un estudio reciente llevado a cabo en Camerún (Bouharmont y Awemo, 1993) indica que el uso de herbicidas (Round Up, p. ej.) tuvo un efecto depresivo sobre la producción acumulada de los primeros tres años de cosecha en comparación con el control manual de las malezas. Sería muy interesante, además, medir el efecto del uso de herbicidas sobre la materia orgánica del suelo y efectos conexos. Por ejemplo, se sospecha que el uso excesivo de herbicidas contribuye al aumento de los problemas causados por los nematodos.

Se han investigado también los efectos de la sombra sobre otros componentes del sistema de producción (infiltración del agua, vientos, temperaturas, erosión, profundidad del acuífero, compactación del suelo, cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo y otros), pero no existe ningún estudio del conjunto de todos los factores claves que permitiría una comparación completa de los diferentes sistemas de producción. Sin embargo, las iniciativas recientes de investigaciones al nivel del ecosistema, motivadas por la conservación de la biodiversidad y de la calidad ambiental, indican un desarrollo en este sentido.

4.4 Balance económico

El caficultor produce café para obtener un beneficio económico como requisito para seguir produciendo. En los años que siguieron la helada de 1975 en Brasil, no se escatimó esfuerzo para aplicar el paquete tecnológico completo. Un estudio de los ocho años siguientes a esa helada, hecho en Costa Rica (Bornemisza, 1986), demostró que son tantas las variables que actúan sobre la agroindustria cafetalera que es casi imposible encontrar correlaciones racionales entre esos factores y los distintos protagonistas involucrados. Sin embargo, se afirma que el mayor riesgo en toda la actividad lo enfrentan los productores *"quienes ven fluctuar más drásticamente su ingreso neto cuando cambian los precios internacionales y el volumen de la producción"*. En cambio, los ingresos de los beneficiadores, los proveedores de insumos, la mano de obra y el Estado suelen ser más estables.

Los bajos precios de la última década motivaron a muchos agricultores a revisar sus tecnologías críticamente. En algunos casos extremos, caficultores abandonaron la actividad por considerarla poco rentable. Sin embargo, la mayoría de ellos hicieron cambios conservadores, y después de toda la promoción de los "paquetes tecnológicos", muchos productores mantienen el sistema de producción tradicional.

El costo de establecimiento de una plantación moderna es más alto que el de una tradicional, debido al alto número de plantas por área. Por otro lado, las variedades modernas son más precoces, lo que hace que la recuperación económica sea más rápida. La rentabilidad queda supeditada a los precios de venta del café en el mercado mundial, sobre la cual el productor no ejerce ningún control. Sin embargo, el productor tiene una opción de ajuste económico de gran potencial: los árboles asociados al

café pueden servir como una “válvula económica” (Beer *et al.*, 1997; Galloway y Beer, 1997). En tiempos de precios bajos del café, se pueden dejar crecer los árboles. La sombra excesiva provoca una reducción en el crecimiento de los cafetos, en los gastos así como en la producción de café. Si los precios de café siguen bajos por mucho tiempo, los productos de los árboles pueden generar ingresos alternativos. En tiempos de precios buenos, se puede reducir el componente arbóreo, a través de podas o raleos, y se puede esperar que aumente la siguiente cosecha de café. Hoy en día estamos a penas haciendo los primeros pasos en la evaluación del potencial que tienen árboles en asocio con café.

Los árboles pueden generar muchos ingresos por sus productos, sobre todo madera, frutos y leña, y por sus efectos ecológicos como, por ejemplo, filtración de las aguas, producción de materia orgánica o fijación de carbono (Beer *et al.*, 1998). Por ejemplo, un cafetal que incluye 100 árboles/ha de laurel (*Cordia alliodora*) puede producir al menos 4 a 6 metros cúbicos (1800 a 2800 pulgadas madera tica (PMT)) de volumen comercial de madera por año equivalente a un valor mínimo de entre US\$144 y 216 (precios de 1995). Este valor se acumula hasta el momento de cosechar a la edad de 10 a 15 años. Asumiendo la cosecha de madera después de 15 años, el valor puede llegar a US\$2160 a 3340 por hectárea (cuadro 2-1).

Cuadro 2-1. Volumen comercial (64% de volumen total) y valor de la madera de 100 árboles de laurel (*Cordia alliodora*) en un cafetal típico abajo de 1000 m al año 15 (datos basados en el “experimento 169” del CATIE (Beer 1993) y precios del mercado).

Especie	Distancia de siembra	Vol com. (m³/ha)	Valor mínimo (US\$)
Laurel	10 x 10 m	60-90	2160-3340

Estos valores representan probablemente el incremento mínimo que un árbol como el laurel puede tener en muchos cafetales típicos (Beer *et al.*, 1997). Dependiendo de los factores ambientales, sobre todo de la elevación y de las propiedades del suelo, el crecimiento de árboles y así

el valor del incremento de madera va a variar. Obviamente, en elevaciones muy altas (encima de 1200 a 1500 m) y en suelos muy degradados, los árboles van a crecer menos, mientras que en condiciones óptimas el crecimiento puede superar los valores presentados (Somarriba y Beer, 1987).

Para valorar mejor la contribución financiera de la producción maderable se puede comparar la ganancia por madera con la ganancia por café. Para este fin, se pueden usar precios promedios de café que se pagan al caficultor a la entrega de café maduro a un beneficio (US\$¹/fanega²), costos promedios de producción, y ganancias estimadas por el incremento de madera en un cafetal típico. Para llegar a un estimado conservador se asume que 100 árboles de laurel (*Cordia alliodora*) en un cafetal aumentan su volumen comercial (64% de su volumen total; Somarriba y Beer 1987) en solamente 4 m³ por año. Este valor reportado por Beer (1993) puede representar un incremento mínimo, dado que los incrementos publicados por Somarriba y Beer (1987) son de 2 a 4 veces más altos. Para incorporar la inestabilidad de los precios de café, se consideran tres niveles de precio de café (cuadro 2-2).

Para precios de café pagados del beneficiador al productor relativamente altos, de US\$75 por fanega, el valor del incremento maderable anual equivale aproximadamente con el valor de 5 fanegas de café. Esto quiere decir que un cafetal con árboles podría dejar de producir 5 fanegas por hectárea para generar, a largo plazo, la misma ganancia que un cafetal sin árboles. Tomando un promedio relativamente alto de producción de 30 fanegas por hectárea y por año (aprox. el promedio nacional de Costa Rica (ICAFE-MAG, 1989)), la reducción de producción aceptable puede alcanzar el 17%. Para precios intermedios, esta reducción aceptable puede llegar hasta 10 fanegas por hectárea y por año, equivalente a un 33% de la producción de café. Y finalmente, precios muy bajos, que generan una ganancia de menos de US\$5 por fanega de café, hacen que el valor relativo por producción de madera suba aún más, hasta superar completamente las ganancias por la venta del café (cuadro 2-2).

Sin embargo, la idea de sembrar árboles maderables en cafetales con el fin de aprovechar la madera casi siempre es acompañada por la preocupación de dañar el cafetal por la tumba y la extracción de los árboles. Un estudio hecho en cafetales con *Cordia alliodora* en Costa Rica demostró

1 Todos los valores fueron convertidos a la tasa de cambio (1995) de 200 col./US\$.

2 Una fanega tiene dos dobles hectolitros de café maduro, i.e. 400 litros, que equivale aproximadamente a un peso de 250 a 260 kg de peso fresco o de 46 kg de café oro.

Cuadro 2-2. Estimación del valor mínimo del incremento anual en volumen comercial de 100 árboles por hectárea en comparación con el valor del café (US\$ de diciembre 1995; cambio aprox. 200 colones/US\$) (se asume un incremento relativamente bajo de 4 m³ de volumen comercial por ha y año) (Muschler, 1998b).

Precio del café al productor (US\$/saco*)	Costo de producción ^{&} (US\$/saco)	Ganancia por venta de café (US\$/saco) [(1)-(2)]	Ganancia anual por incremento de la madera (US\$)	Número de sacos de café equivalente al valor de madera [(4)/(3)]	Reducción de prod. de café compensada por el valor de la madera (% de prod. promedio de 30 sacos/ha) (5)x100/30
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
(100)	45	55	150	2.7	9
Alto (75)	45	30	150	5	17
Intermedio (60)	45	15	150	10	33
Bajo (<50)	45	< 5	150	> 30	> 100

* 1 saco = 46 kg de café oro, resultado del beneficiado de una fanega ó dos doble hectolitros de café en fruto. Para mayor simplicidad se convirtieron todas las medidas a sacos de café oro.

& Este valor es un 40% más bajo que la estimación de los costos de producción por fanega de la "finca modelo" del Instituto del Café (ICAFFE) de Costa Rica (Rojas, 1996). Se pretende reflejar los costos reducidos de un productor pequeño que usa menos insumos externos. Costos de producción más altos, como los del ICAFFE, aumentarían el valor relativo de la madera aún más.

que (1) el valor de la madera era mucho más alto que el daño relativamente ligero ocasionado al cafetal y que (2) era posible minimizar los daños al adoptar las recomendaciones de siembra y aprovechamiento dadas por Somarriba (1992). Las más importantes recomendaciones son de sembrar los árboles entre (no dentro) las filas de café, cosechar los árboles durante tiempos de bajos precios de café, y antes de la poda del café. De esta manera se pueden reducir los daños físicos a los cafetos, se minimiza el impacto económico por el daño a los cafetos, y se pueden corregir los daños a los cafetos al momento de la poda.

Actualmente, la situación mundial del mercado de café no da indicaciones para esperar que los precios en la próxima década van a superar el nivel intermedio. Más bien, la sobreproducción de café al nivel mundial hace probable que los precios van a mantenerse en niveles intermedios a bajos (Seudieu, 1997). Por lo tanto, es muy probable que el ingreso de otros productos de los cafetales, como la madera, asumirán mayor importancia en el futuro (Beer *et al.*, 1997).

Los precios de madera han tenido una tendencia a aumentar durante las últimas décadas (Gómez, 1995). No hay ninguna razón para pensar que la madera va a ser más barata en el futuro cercano. Tomado junto, la tendencia a bajar del precio del café en términos absolutos (Hernández, 1995) y la tendencia a subir del valor de la madera (Gómez, 1995) subrayan la relevancia y el atractivo económico de los cafetales arbolados presentados.

5 El Desafío de una Caficultura Sostenible

Muchos de los sistemas tradicionales tienen el potencial de generar un ingreso estable y aceptable que consiste en café (a veces café especial como por ejemplo el café orgánico), productos arbóreos (madera, frutos) y servicios ambientales como el secuestro de carbono, la producción de agua limpia o los aportes a la conservación de la biodiversidad. El valor de estos sistemas se manifiesta en su presencia continua en América Central. Aún en Costa Rica, donde se han invertido mayores esfuerzos para "tecnificar" la caficultura, la tecnología moderna no ha sido adoptada por todos los productores (Alvarado y Rojas, 1992). En Honduras el sistema tradicional aporta el 65% a la caficultura nacional (IICA, 1995). Un informe de Nicaragua (CONCAFE, 1991) apunta que tan solo el 24% del área sembrada en el país, puede considerarse tecnificada. Esa es más

o menos la tónica en todo América Central (Rice, 1997). El desafío consiste en la búsqueda de maneras de ayudar a ese caficultor para que logre su propósito, con un mínimo de riesgo, usando métodos de cultivo razonables, sostenibles y rentables, para su propio beneficio y el de los países en general. Para avanzar en esta dirección, hay tres áreas de trabajo prioritarias: la investigación ecológica al nivel de ecosistemas, los estudios socio-económicos, y la comercialización y el mercadeo.

5.1 *Investigación ecológica*

Entre las áreas prioritarias se encuentran:

- *Zonificación:* Deben establecerse criterios sobre las mejores áreas para sembrar café, esto no sólo a nivel de región sino a nivel de finca. En la actualidad el café está sembrado en muchas áreas no aptas para el cultivo con consecuencias negativas tanto en la economía como la ecología de la región afectada.
- *Control integrado de enfermedades y plagas:* Ya hay trabajos iniciales sobre este aspecto (ver los capítulos 6, 7, 9 y 10), pero quedan muchas preguntas abiertas, sobre todo orientadas hacia sistemas de bajos o cero insumos. Algunas posibilidades son la selección de variedades resistentes, el injerto sobre patrones resistentes, la prevención de enfermedades y el control biológico.
- *Manejo de la plantación:* Aunque es el área más estudiada, hay aspectos importantes que merecen mayor atención como, los cultivos mixtos, el uso de árboles de sombra económicamente útiles, el uso de plantas de cobertura, el manejo ecológico del suelo (capítulo 4), la nutrición a base de abonos orgánicos y *compost*, y el aumento de la estabilidad de la producción en tiempo. Muchas de estos temas contribuirán hacia el desarrollo de cafetales de un manejo orgánico o con pocos insumos.
- *Estudios de compatibilidad de especies:* Es importante enfocar la combinación de café con especies de servicio, con maderables y con frutales. Para poder aprovechar un sistema productivo y estable hay que estudiar las interacciones entre el café y los árboles asociados (Muschler,

1998b). Actualmente existen varias iniciativas en este campo como, p.e., las investigaciones interinstitucionales entre el CATIE y instituciones nacionales y regionales de investigación y extensión en América Central.

5.2 Comercialización y mercadeo

Al igual que con otros productos, no existe estabilidad ni control de los precios del café en el mercado mundial. Para asegurarse precios más elevados y más estables, los productores han empezado a incursionar con nuevos productos que se están abriendo campo entre los consumidores. Tal el caso de los cafés especiales y los cafés orgánicos.

Durante la Octava Reunión de la "Specialty Coffee Association of America" en Minneapolis en 1996, se predijo que se espera que en 1999 habrá en Estados Unidos unas 10 000 tiendas especializadas en café, en las que podrá comprarse café de marca sin mezclas. En 1994 había 3000 de estas tiendas. Los supermercados entran cada vez más en esta modalidad de mercado. En este campo América Central tiene grandes posibilidades (Clemens, 1992; Boyce *et al.*, 1994). Para poder aprovecharlas, hay que preparar y difundir información dirigida a los consumidores, tanto sobre el sistema de producción como sobre los efectos ambientales resultantes.

5.3 Estudios socio-económicos

Prácticamente toda la investigación que por décadas se ha hecho en América Central en café era de tipo biológico-agronómico. Son raros los estudios de corte económico o social como, por ejemplo, Ridler (1982) y frecuentemente los estudios agronómicos carecen de un análisis socio-económico. Eso tiene que cambiar. El caficultor cultiva para obtener ingresos económicos, pero ignora muchos de los efectos económicos de sus prácticas como, por ejemplo, las externalidades por contaminación ambiental. De igual manera los conocimientos de administración o gerenciales son insuficientes en la mayoría de los casos. Las relaciones capital-tierra-trabajo deben ser motivo de estudio en la caficultura.

En resumen, un mejor entendimiento del café y de su entorno, sumado a un buen conocimiento de las implicaciones e interrelaciones de los factores económicos involucrados, son indispensables para continuar produciendo o volver a producir café eficientemente en un futuro extendido. Es probable que ecosistemas intactos con alta biodiversidad de plantas, animales y microorganismos que cumplen con funciones múltiples van a ser más y más aceptados como modelo para desarrollar los cafetales sostenibles del futuro. La combinación de experiencias tanto de cafetales "tradicionales" como "tecnificados" parece ser un camino promisorio para alcanzar esta meta.

Bibliografía

- Abruña, F.; Silva, S.; Vicente-Chandler, J. 1966. Effects of yields, shade, and varieties on size of coffee beans. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 4: 226-230.
- Alvarado, J.A. 1935. Tratado de caficultura práctica. Guatemala. Vol. I y II. 227 p.
- Alvarado, M.; Rojas, E. 1992. Diagnóstico sobre el grado de transferencia y adopción del paquete tecnológico por parte del caficultor en Costa Rica. *Noticiero del Café (Costa Rica)* 75: 3-6.
- Alvim, P.T. 1958. Estímulo de la floración y fructificación del cafeto por aspersiones con ácido giberélico. *Turrialba* 8: 64-72.
- Araya, M. 1994. Distribución y niveles poblacionales de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. en ocho cantones productores de café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18: 183-187.
- Baggio, A.J.; Caramori, P.H.; Androcioni, A.; Montoya, L. 1997. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. *Agrofor. Syst.* 37: 111-120.
- Barradas, V.L.; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agric. For. Meteorol.* 38: 101-112.
- BCCR (Banco Central de Costa Rica). 1973. Situación del cultivo del café en las zonas marginales y alternativas de sustitución. Reporte Interno. San José, Costa Rica. 45 p.
- Beer, J.W. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agrofor. Syst.* 5: 3-13
- Beer, J.W. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agrofor. Syst.* 7: 103-14
- _____. 1993. Production and competitive effects of the shade trees *Cordia alliodora* and *Erythrina poeppigiana* in an agroforestry system with *Coffea arabica*. Ph.D. Thesis. Oxford. 230 p.
- _____.; Muschler, R.G.; Kass, D.; Somarriba, E.J. 1997. Maderables como sombra para café. *Boletín PROMECAFE* 76/77: 5-7.

- Beer, J.W.; Muschler, R.G.; Kass, D.; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cocoa plantations. *Agrofor. Syst.* 38: 139-164.
- Bornemisza, P. 1986. Evolución de la distribución del ingreso en el sistema cafetalero costarricense desde 1974 hasta 1984. Tesis. Esc. Econ. Agr., Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 235 p.
- Bouharmont, P.; Awemo, J. 1993. Etude de l'effet de traitements herbicides au roundup sur la croissance et la production du cafeier robuste. *Café Cacao Thé.* 37(3): 191-194.
- Boyce, J.K.; Fernández, A.; Fürst, E.; Segura, O. 1994. Café y desarrollo sostenible: del cultivo agroquímico a la producción orgánica en Costa Rica. EUNA, Heredia, Costa Rica. 248 p.
- Cain, J.C. 1956. Absorption and metabolism of urea by leaves of coffee, cacao and banana. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 67: 279-286.
- Caramori, P.H.; Androcioli, Filho A.; Leal, A.C. 1996. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. *Agrofor. Syst.* 33: 205-214.
- Carvajal, J.F. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. 2a. ed. Inst. Int. de la Potasa. Berna/Suiza. 254 p.
- Castillo, J.; López, R. 1966. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. *Cenicafé* 17: 51-60
- Clemens, H. 1992. La producción de café orgánico: una alternativa para los pequeños agricultores nicaragüenses? *Revista de Economía Agrícola (UNAN, Managua)* 4: 16-21.
- Cohen, C. 1935. Cuáles son los factores que determinan la condición de los "café suaves"? *Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica* 7: 89-93.
- CONCAFE. 1991. Informe del año cafetalero. Ciclo 1990-1991. Comisión Nacional del Café. Managua, Nicaragua. 20 p.
- Cook, O.F. 1901. Shade in coffee culture. Washington, USDA Bulletin No. 25. 79 p.
- Doran, J.W.; Sarrantonio, M.; Liebig, M.A. 1996. Soil health and sustainability. *Adv. Agron.* 56: 1-54
- Espinoza, L.P. 1985. Untersuchungen über die Bedeutung der Baumkomponente bei agroforstwirtschaftlichem Kaffeeanbau an Beispielen aus Costa Rica. Ph.D.-Thesis. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Heft 10.
- Ewel, J.J. 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17: 245-71
- Figueroa, R.; Fischersworing, B.; Roskamp, R. 1998. Guía para la caficultura ecológica. 2da. ed. Proyecto Café Orgánico, GTZ. Novella Publigráf, Lima, Perú.
- FNC. 1932. Manual del cafetero colombiano. Federación Nacional de Cafeteros (FNC), Bogotá: Litografía Colombia. 399 p.
- Fonseca, E. 1996. Centroamérica: su historia. Flacso-Educa, Costa Rica. 379 p.
- Fournier, L.A. 1988. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense* 12(1): 131-46.
- Gallina, S.; Mandujano, S.; Gonzalez-Romero, A. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. *Agrofor. Syst.* 33: 13-27.
- Galloway, G.; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Informe Técnico no. 285. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 166 p.

- Goldberg, A.D.; Kigel, J. 1986. Dynamics of the weed community in coffee plantations grown under shade trees: effect of clearing. *Israel J. Bot.* 35: 121-131.
- Gómez, M. 1995. Precios de productos forestales en América Central. *Revista Forestal Centroamericana (Costa Rica)* 12: 25-30.
- Greenberg, R.; Bichier, P.; Sterling, J. 1997. Bird populations in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* 29: 501-514.
- Guiscafre-Arriaga, J. 1957. Sombra o sol para el café? *El Café de El Salvador* 308/9: 320-364.
- Guyot, B.; Gueule, D.; Manez, J.C.; Perriot, J.J.; Giron, J.; Villain, L. 1996. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés Arabica. *Plantations, Recherche, Développement* 272-283.
- Hall, C. 1976. El café y el desarrollo histórico-geográfico de Costa Rica. Editorial Costa Rica y UNA. 208 p.
- Hernández, O.R. 1995. Rendimiento y análisis financiero del sistema agroforestal café (*Coffea arabica* cv. Caturra) con poró (*Erythrina poeppigiana*) bajo diferentes densidades de laurel (*Cordia alliodora*). M.Sc. Tesis. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 60 p.
- Hoitink, H.A.J.; Fahy, P.C. 1986. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Ann. Rev. Phytopathol.* 24: 93-114.
- _____; Stone, A.G.; Han, D.Y. 1997. Supresión de enfermedades mediante el uso de compost. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 43: 31-39.
- Huston, M. 1993. Biological diversity, soils, and economics. *Science* 262: 1676-80.
- ICAFE. 1996. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, Costa Rica. 129 p.
- ICAFE-MAG. 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. Instituto del Café, San José, Costa Rica. 122 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1995. Caracterización de la caficultura hondureña. Tegucigalpa, Honduras. 43 p.
- Kumar, D.; Tieszen, L.L. 1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Expl. Agric.* 16: 13-19.
- Lock, C.G.W. 1888. Coffee: its culture and commerce. London: E. & F. N. Spon. 264 p.
- Machado, A. 1959. Transformación de plantaciones de café. *Cenicafé* 10: 217-264.
- Montealegre, M.R. 1954. Cafetales a pleno sol versus cafetales a la sombra. *Suelo Tico* 7: 263-275.
- Müller, L.E. 1959a. Algunas deficiencias minerales comunes en el café (*Coffea arabica* L.). *Boletín Técnico* no. 4. Turrialba, Costa Rica: IICA. 7 p.
- _____. 1959b. La aplicación del diagnóstico foliar en el café (*Coffea arabica* L.) para una mejor fertilización. *Turrialba* 9: 110-122.
- Muschler, R.G. 1997a. Efectos de sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars. Caturra y Catimor. In Echeverri J, Zamora L (eds.). *Memorias del 18vo Simposio Latinoamericano de Caficultura. Setiembre 1997.* San José, Costa Rica. p. 157-162.
- _____. 1997b. Shade or sun for ecologically sustainable coffee production: a summary of environmental key factors. p. 109-112. In CATIE: III. *Semana Científica, CATIE, Turrialba, Costa Rica.*

- Muschler, R.G. 1998a. Shade improves quality of *Coffea arabica* L. in a sub-optimal coffee zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems*. Submitted.
- _____. 1998b. Árboles en Cafetales. Serie de Módulos de Enseñanza Agroforestal. CATIE, Turrialba, Costa Rica: Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. En revisión.
- Nunes, M.A.; Bierhuizen, J.F.; Ploegman, C. 1968. Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Bot. Neerl.* 17: 93-102.
- Nutman, F.J. 1937a. Studies of the physiology of *Coffea arabica*. I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. *Ann. Bot.* 1: 353-367.
- _____. 1937b. Studies of the physiology of *Coffea arabica*. II. Stomatal movements in relation to photosynthesis under natural conditions. *Ann. Bot.* 1: 681-693.
- Ostendorf, F.W. 1962. The coffee shade problem. *Tropical Abstracts* 17: 577-581
- Pérez, S.A. 1974. *Circulares Técnicas de CAFESA*. Tomo I. San José, Costa Rica. 125 p.
- Pérez, V.M. 1977. Veinticinco años de investigación sistemática del cultivo del café en Costa Rica: 1950-1975. *Agronomía Costarricense* 1: 169-185.
- Perfecto, I.; Rice, R.A.; Greenberg, R.; Van der Voort, M.E. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. Shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience* 46: 598-608.
- _____; Snelling, R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantations. *Ecol. Appl.* 5: 1084-1097.
- Piringer, A.A.; Borthwick, H.A. 1955. Photoperiodic responses of coffee. *Turrialba* 3: 72-77.
- PROMECAFE. 1990. Lista de introducciones al Banco de Germoplasma de café (*Coffea* spp.) del CATIE. Turrialba, Costa Rica. 102 p.
- Ramírez, L.G. 1993. Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. pp. 121-24 In Westley S.B., Powell M.H. (eds.). *Erythrina in the New and Old Worlds*. Paia, Hawaii: Nitrogen Fixing Tree Association. 358 p.
- Rice, R.A. 1991. Observaciones sobre la transición en el sector cafetalero en Centroamérica. *Agroecología Neotropical* Vol. 2: 1-6.
- _____. 1997. Café sustentable en Centro América: recursos y redefiniciones. *Boletín de PROMECAFE (Honduras)* 73/74: 9-12.
- Riddler, N.B. 1982. Implications of new coffee technology in Central América. *Desarrollo Rural en las Américas (Costa Rica)* 14(2): 63-71.
- Robinson, J.B.D.; Mitchell, H.W. 1964. The response of *Coffea arabica* L. to mulch, compost and nitrogen fertilizer in Tanganyika. *Turrialba* 14: 5-14.
- Robinson, R.A. 1996. The loss of resistance in coffee. pp. 201-21. In Robinson, R.A. *Return to resistance: breeding drops to reduce pesticide dependence*. Ottawa, Canadá, IDRC; Davis, California, EE.UU., agAccess. 500 p.
- Rodríguez, M. 1935. Observaciones sobre la frecuencia de la temperatura en los cafetales sombreados. *Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica* 7: 95-105.
- Rojas, R. 1996. Modelo de costos de producción de café. San José, Costa Rica: Instituto del Café de Costa Rica. 24 p.

- Rubio Sánchez, M. 1954. Breve historia del desarrollo del cultivo del café en Guatemala. *Anales de la Soc. de Geografía e Historia* 27 (1-4): 169-238.
- Ruppenthal, M.; Leihner, D.E.; Hilger, T.H.; Castillo, J.A. 1996. Rainfall erosivity and erodibility of inceptisols in the southwest Colombian Andes. *Expl. Agric.* 32: 91-101.
- Russo, R.O.; Budowski, G. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agrofor. Syst.* 4: 145-162.
- Schulze, E.D.; Mooney, H.A. (eds.). 1994. *Biodiversity and ecosystem function*. Berlin: Springer.
- Seudieu, D.O. 1997. World coffee economy: situation and outlook. In Echeverri, J.; Zamora, L. (eds.). *Memorias del 18vo Simposio Latinoamericano de Caficultura*. San José, Costa Rica: IICA-PROMECAFE. p. 13-24.
- Somarriba, E. 1992. Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. *Agroforestry systems* 18: 69-82.
- Somarriba, E.J.; Beer, J.W. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *For. Ecol. Manage.* 18: 113-25.
- Suárez de Castro, F.; Montenegro, L.; Avilés, C.; Moreno, M.; Bolaños, M. 1961. Efecto del sombrío en los primeros años de vida de un cafetal. *Café (IICA)* 3: 84-102.
- _____; Rodríguez, A. 1955a. Pérdidas por erosión de elementos nutritivos, bajo diferentes cubiertas vegetales y con varias prácticas de conservación de suelos. *Boletín Técnico Vol 2(14)*. Federación Nacional de Cafeteros. Chinchiná, Colombia. 23 p.
- _____; Rodríguez, A. 1955b. Equilibrio de materia orgánica en plantaciones de café. *Boletín Técnico Vol 2(15)*. Federación Nacional de Cafeteros. Chinchiná, Colombia. 49 p.
- Tanada, T. 1946. Utilization of nitrates by the coffee plant under different sunlight intensities. *J. Agric. Res.* 72: 245-258.
- Valencia, G.; Salazar, J.N. 1993. La materia orgánica y su importancia en el cultivo del café. *Boletín Técnico* 16. Cenicafé, Colombia. 24 p.
- Wille, C. 1994. The birds and the beans. The coffee fields of Mexico and Central America may be the last best habitat for migrating birds. *Audubon Nov/Dec* 94: 58-64.
- Willey, R.W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45(12): 791-98.
- Wrigley, G. 1988. *Coffee*. London: Longman. 639 p.

CAPÍTULO 3

LOS SUELOS CAFETALEROS DE AMÉRICA CENTRAL Y SU FERTILIZACIÓN

*Elemer Bornemisza**, Universidad de Costa Rica
*Jean Collinet, IRD***
Alvaro Segura, Universidad de Costa Rica

1 *Introducción*

Los suelos y su manejo por los agricultores son componentes esenciales del sistema de cultivo de café. La preservación de sus calidades es necesaria para el desarrollo de una caficultura sostenible. Muchas de las enfermedades y plagas del café se desarrollan particularmente en los suelos desequilibrados biológico y nutricionalmente (por ejemplo los nematodos, capítulo 10), o bien aprovechan la debilidad del cafeto sembrado en estos suelos para infectarlo (por ejemplo roya, capítulo 6).

Este capítulo pretende presentar los suelos cafetaleros, el origen de su formación y de sus transformaciones, así como su aptitud a soportar, en determinadas condiciones de manejo, una caficultura sostenible.

Las calidades de un suelo en relación con la caficultura dependen de sus características biológicas (capítulos 2 y 4) y de su naturaleza físico-química. A su vez, esta naturaleza depende de los diferentes procesos que condujeron a la formación de este suelo, por alteración de la roca madre,

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Fax: (506) 234-1627.

** Ex ORSTOM.

o por depósitos exógenos de diferentes orígenes. Los diferentes sistemas de cultivo de café (capítulo 1) fueron y son en gran parte resultado de las limitaciones relacionadas con el suelo.

El desarrollo de la caficultura en estos suelos también cambia en función de las condiciones climáticas que imperan. El cultivo del cafeto *Arábica* es una actividad tropical en zonas de altura. Las superficies allí son generalmente muy inclinadas. Además, las precipitaciones tropicales se caracterizan por sus fuertes intensidades. En fin, los sistemas intensivos de cultivo de café están acompañados de un control drástico de las malezas, y gran parte del suelo se queda desnudo, particularmente durante los dos años que siguen la plantación de la parcela, y durante el año que sigue la poda de la parcela. Por estas tres razones, los suelos cafetaleros están muy susceptibles a la escorrentía de las lluvias, y a la erosión consiguiente. A largo plazo, esta erosión desplaza los horizontes fértiles de los suelos de altura, y merma por lo tanto las posibilidades de desarrollo de una caficultura sostenible.

El mantenimiento de la caficultura también depende de la restitución de los elementos químicos exportados fuera de las parcelas, por la cosecha o por la extracción de la leña después de las podas. Es fundamental adecuar la necesaria fertilización según las exportaciones, y según las cualidades del suelo considerado.

Este capítulo está enfocado hacia estos tres grandes campos de la ciencia del suelo:

- En la primera parte, se presentan los suelos de América Central en relación con la caficultura.
- La segunda parte evoca algunos aspectos de funcionamiento hídrico superficial de los suelos que más comúnmente soportan plantaciones de café, y de su comportamiento en relación con la erosión.
- La tercera parte trata de la nutrición mineral del cafeto en estos suelos, de la necesaria fertilización con los peligros que conlleva, y da finalmente algunas recomendaciones y pautas en este campo.

Los temas igualmente fundamentales del mantenimiento de la materia orgánica del suelo y de la utilidad de las asociaciones simbióticas de las raíces para ello no se consideran aquí. Estos temas están desarrollados en el capítulo 4.

2 Los Suelos de América Central, Potencialidades y Problemas para la Caficultura

2.1 Presentación general

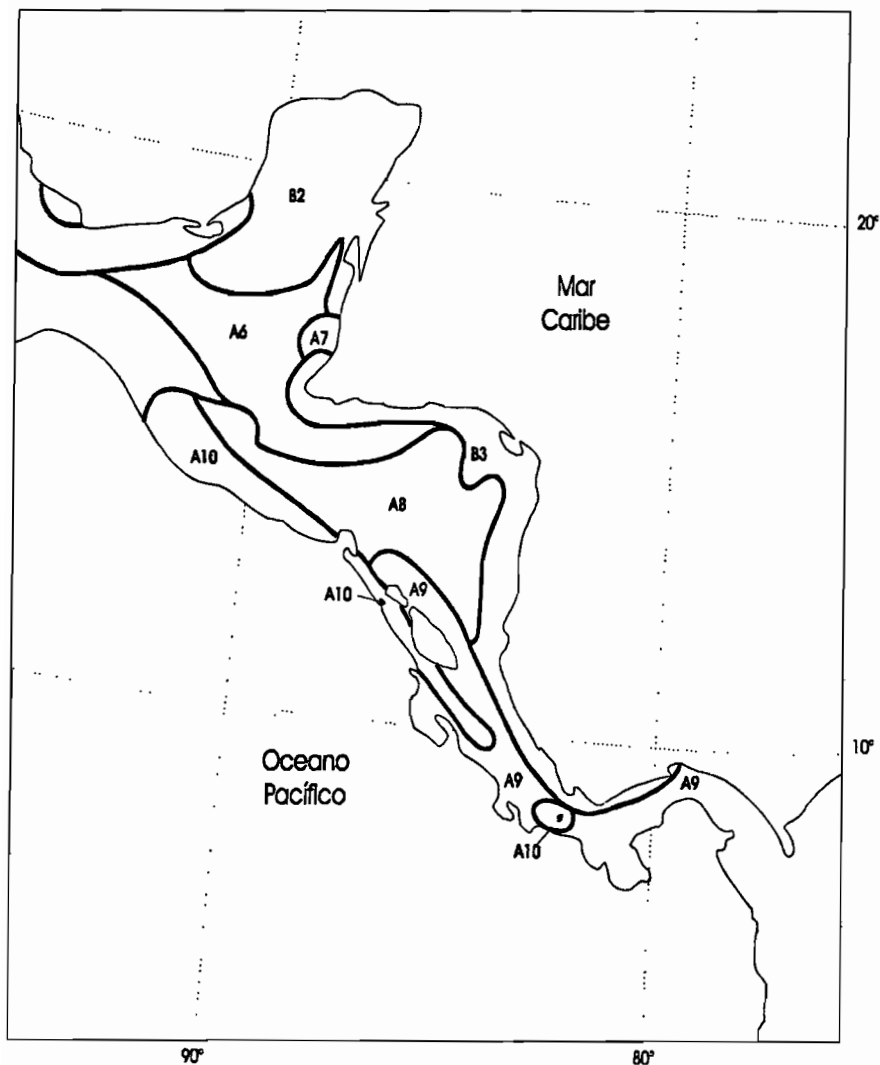
América Central presenta un medio físico complejo tanto por su historia geológica, como debido a la multiplicidad de los climas que contribuyen al modelado de los relieves y a la formación de los suelos. Es un mundo muy joven ubicado en la convergencia de las placas litosféricas cuyos movimientos relativos y encajonados llevaron a la emersión y luego la fracturación de rocas sedimentarias del Secundario o del Terciario. Por estas fracturas subieron rocas efusivas que se derramaron en vastas mesetas (basaltos) o proveyeron los productos de construcción de las cordilleras de volcanes que se extienden a lo largo de la costa Pacífica (piroclásticas andesíticas, lahares, y diversas coladas de lavas). La erosión conllevó igualmente el afloramiento de rocas magmáticas cristalinas y cristalofílicas a menudo más antiguas, ya sea ácidas como los granitos, dioritas, esquistos metamórficos de los ejes de las cordilleras más viejas, o básicos como las periodotitas de las costas del Pacífico. La alteración de estas numerosas rocas bajo los efectos de los factores climáticos variables dependiendo de las zonas, da origen a una gran cantidad de tipos de suelos que tienen generalmente buenas fertilidades bioquímicas pero por el contrario, características físicas muy variables dependiendo de su edad o de su rejuvenecimiento debido a la erosión activa en la zona accidentada y las deposiciones repetidas de ceniza.

En América Central, los sistemas de pedogénesis pueden resumirse de la siguiente manera (ver figura 3-1):

1. Formación que se explica por la *topografía* que orienta los flujos hídricos superficiales y profundos, que a su vez movilizan, transportan y depositan los elementos solubles o sólidos a lo largo de las pendientes; los suelos formados en la roca madre misma están entonces genéticamente ligados entre sí. Un buen ejemplo es la asociación Rendzine de las cumbres /Vertisoles de los fondos bajos, en las tierras bajas calcáreas Cretácicas de Yucatán y del Petén guatemalteco (región B2 de la figura 3-1).
2. Diferenciación dependiendo de la distribución de los *productos piroclásticos*; la sedimentación aérea provee los suelos menos evolucionados sobre los productos gruesos más cercanos al cráter (suelos volcánicos

- vítricos y los más evolucionados son los productos finos rápidamente alterables lejos del cráter (Andosoles). Es, por ejemplo, el campo de los suelos ándicos de las cordilleras y del altiplano volcánico del Cuaternario (región A10).
3. Yuxtaposición de suelos formados en rocas madres diferentes, pero que evolucionan todos en condiciones de pedogénesis vecinas; los suelos hidromorfos minerales y orgánicos de las tierras bajas sobre aluviones y coluviones del Cuaternario de la Costa Atlántica corresponden a este sistema donde las *saturaciones hídricas* son más o menos durables (Región B3).
 4. Algunas asociaciones no pueden explicarse a menos que se reconstituya la *historia del paisaje*. En la región de Estelí en Nicaragua, por ejemplo, es fácil identificar los suelos ferruginosos, muy densos en las antiguas alteraciones de los restos de la superficie de abrasión Pliocena que forma los rellanos en altitud, y los suelos marrones eutróficos, pedregosos, poco densos, erosionados permanentemente en las vertientes de pendientes de las montañas que dominan el ancho valle de Estelí (Región A8).
 5. A una escala menor, hay que considerar las diferencias en el lavado de bases o en arcillas ligadas a las diferencias en las *intensidades de los drenajes hídricos*, los cuales están directamente relacionados con la pluviometría. Es así como se observa a menudo el transecto climático *Cambisol/Luvisol/Acrisol* entre la costa del Pacífico más seca y las vertientes expuestas al viento alisio de la costa Atlántica más húmeda (secuencias climáticas de las regiones A6, A8, A9).

Cuando se considera la lógica de las asociaciones, es posible analizar los mapas de los suelos (4, 7, 10). Este análisis, que deja ver *las potencialidades o los factores desfavorables para la caficultura*, se apoya en el recorte México y América Central del mapa mundial de los suelos a 1:5,000,000 de la FAO UNESCO (vol. III, 1976). Desgraciadamente, no se puede evitar la designación de las unidades de los suelos por medio de un sistema de clasificación; se presenta aquí dos "llaves taxonómicas": FAO-UNESCO (1976, revisado en 1989), y el americano de la Soil Taxonomy (1990). Los criterios de clasificación FAO de los suelos citados, inventariados en América Central se resumen en el anexo.



- B2: Tierras bajas calizas Cretácicas del Yucatán mexicano y del Petén guatemalteco
- B3: Tierras bajas sobre aluviones y coluviones del Cuaternario de la Costa Atlántica
- A6: Tierras altas de las cordilleras calizas Cretáceo y esquistosas Permo-Carbonífero
- A8: Tierras altas volcánicas ácidas, sedimentarias Terciario y cristalófilas
- A9: Tierras altas volcánicas básicas del Terciario de la parte istmica
- A10: Cordillera y altiplano volcánicos Cuaternarios

Figura 3-1. Mapa de las regiones submorfo-pedológicas de América Central (según el Mapa Mundial de Suelos, FAO, 1976).

2.2 *Las regiones morfopedológicas de América Central, aptitud para la caficultura*

Del norte al sur del istmo descubrimos las regiones morfopedológicas representadas en el *mapa adjunto* en la figura 3-1. Por región morfopedológica hay que comprender un *contenedor fisiográfico* que describe el tipo de paisaje y un *contenido pedológico* que define las principales asociaciones de los suelos diferenciados en estos paisajes. Los tipos de suelos se clasifican según la taxonomía FAO-UNESCO; la clasificación americana correspondiente se indica luego entre paréntesis. Los suelos de las asociaciones contenidas en las diferentes regiones morfopedológicas se indican por frecuencia decreciente.

2.2.1 *Las tierras bajas calizas Cretácicas del Yucatán mexicano y del Petén guatemalteco: regiones B2 (según el mapa FAO-UNESCO) y parte de la región A6*

2.2.1.1 Fisiografía

El norte presenta zonas kársticas donde alternan paisajes ondulados que drenan bien y llanos que drenan mal. En el sur, estas calizas, margas y yesos forman un frente de "Cuesta" que hace la transición a lo largo de varias decenas de kilómetros con las estribaciones montañosas de las mismas rocas plegadas de la región A6 (Universidad Rafael Landívar, 1984).

2.2.1.2 Suelos

- *Rendzine* (Rendoll),
- *Cambisoles* éutricos (Eutrochrepts),
- *Vertisoles* pélicos (Haplusferts al norte, Hapluderts al sur)
- *Gleysoles* (Tropaquents o Tropaquepts)

Todos estos suelos tienen un grado de saturación en bases superior a 50%. La asociación Rendzine/Cambisoles/Vertisoles o Gleysoles es un buen ejemplo de toposecuencia donde el funcionamiento de cada componente garantiza el equilibrio del sistema, que funciona de la siguiente manera: el karst está en vías de colmatación por las arcillas saturadas sintetizadas en las depresiones (Vertisoles y Gleysoles) a expensas del

sílice liberado de las arcillas de descalcificación de las cumbres donde el humus forestal mantiene un medio acidificado (Cambisol en materiales densos, Rendzines en materiales delgados).

2.2.1.3 Aptitud para la cafcultura

Esta región no es propicia para la cafcultura por las siguientes razones:

- *Hacia la frontera mexicana*, el pedoclima es demasiado seco (4 meses de los 12 son secos) y la temperatura elevada (temperatura promedio anual superior a 23°C), lo que no está compensado por las reservas hídricas que son demasiado bajas debido a la pedregosidad y al escaso espesor de las rendzinas. En los suelos vérticos, esta agua no está disponible para las plantas. En los Gleysoles, se tienen saturaciones hídricas, creando condiciones reductoras desfavorables.
- *Hacia el sur de Flores*, el clima es más húmedo con 2 a 3 meses solamente de sequía, eventuales aptitudes para un *C. liberica* en los Gleysoles éutricos que estarían bien drenados.

2.2.2 *Las tierras bajas sobre aluviones y coluviones del Cuaternario de la Costa Atlántica y algunas llanuras costeras del Pacífico: región B3*

2.2.2.1 Fisiografía

Esta región, de una longitud de aproximadamente 1600 km, es la Costa Atlántica Caribe que va desde Guatemala (Puerto Barrios) hasta la zona del Canal de Panamá. Su ancho oscila entre los 10 y 80 km. Los materiales emparentados con los suelos son coluviones y sedimentos detríticos provenientes de la destrucción actual de las colinas y de las cordilleras de la parte interior del país. Su heterogeneidad está ligada al clima, a la extensión de las cuencas que redistribuyen los coluviones, a las corrientes marinas que los distribuyen en la costa, y a una topografía de detalle que controla la saturación hídrica y permite o no la instalación de manglares.

2.2.2.2 Suelos

De los interiores bien drenados hacia la costa no tan bien drenada, se observa la sucesión de Acrisoles/Gleysoles y Planosoles/Regosoles e Histosoles sobre las costas y Fluvisoles en los valles anchos.

- Acrisoles háplicos en Guatemala (Hapludults), A. húmicos en Honduras, Nicaragua y Costa Rica (Humults).
- Gleysoles mólicos en Honduras y Norte de Costa Rica (Aquolls), G. plínticos en Nicaragua y al sur de Costa Rica (Plinthaquepts), G. éutricos, exclusivamente en la costa Pacífica de Guatemala y en el Salvador (Tropaquents o Tropaquepts).
- Planosoles húmicos en Costa Rica (Palleudolls), P. dystrico en Costa Rica y Panamá (Paleudalfs).
- Fluviosoles éutricos de las terrazas recientes de los grandes ríos de Honduras, Panamá (fluvents), F. dystricos de las terrazas antiguas en Honduras y Nicaragua (fluvents).
- Regosoles dystrico (Orthens o Psamment).
- Histosoles dystricos o H. tiónicos (Histosoles): suelos turbosos y manglares.

Con el desmejoramiento del drenaje hacia la costa, los Acrisoles del interior del país adquieren un horizonte pseudo gley, luego gley y se cambia a gleyisol si el horizonte de gley es de menos de 50 cm. El complejo de intercambio puede mantenerse saturado a más de 50% hacia Guatemala. La insaturación es más importante hacia el sur del istmo más húmedo y se pasa de los suelos "éutricos" a los suelos "dystricos". En estos medios más húmedos, una mayor movilización del hierro da gleysoles plínticos, particularmente abundantes en Nicaragua. La mayoría de estos suelos son gravillosos y pedregosos, y soportan, cuando son drenados, las más vastas zonas bananeras de América Central (Honduras, Costa Rica). La extensión de los Regosoles costeros, importante para los cocotales, está ligada a los aluviones de los grandes ríos y de la orientación de las corrientes marinas que hayan redistribuido estos aluviones. Una franja oceánica baja, una cuenca poco extensa que drena el interior volcánico de la región, son las condiciones que permiten la instalación de manglares en Histosoles tiónicos, a menudo desarrollados en la Costa Pacífica (Nicaragua). Este medio puede ser muy productivo (cultivos de arroz, cría de camarón), pero su gestión, muy delicada, se basa en un equilibrio que aprovecha las largas fases de anaerobiosis para evitar, entre otras cosas, la oxidación del azufre y la esterilización ácida de las tierras emergidas.

2.2.2.3 Aptitud para la caficultura

Este medio no es propicio para el *C. arabica* por razones climáticas y pedológicas. La altitud (inferior a 300 m) no puede compensar la latitud

en estas llanuras bajas del Atlántico, las horas sol son las más bajas (inferior a 1600 horas por año), la temperatura demasiado elevada y de baja amplitud anual (temperatura promedio por año de 25°C). El *C. robusta*, por el contrario, puede ser plantado en los Acrisoles todavía correctamente drenados en el interior del país, pero se pueden hacer escogencias mucho más interesantes tales como las piñas o las plantas de raíz y tubérculos. Estos suelos son en efecto muy ácidos y carentes en N, P, K. No se debe temer ningún déficit hídrico, no por las propiedades físicas de los suelos que a menudo son execrables, sino más bien porque son las regiones más regadas del istmo (hasta 4000 mm por año repartidos en 10-12 meses). Las características físicas desfavorables se deben a varias razones: bajo volumen de suelo blando debido a la pedregosidad, textura a menudo heterogénea verticalmente, lo que provoca una ruptura en la continuidad de los poros capilares, incluso en presencia de un manto poco profundo, de ahí que los suelos deben ser al mismo tiempo drenados e irrigados.

2.2.3 *Las tierras altas de las cordilleras plegadas calizas Cretáceo y esquistosas Permo-Carbonífero: región A6*

2.2.3.1 Fisiografía

Se trata de cordilleras montañosas orientadas oeste-este en Guatemala y en Honduras, orientación que corresponde a los trazos sur de la placa tectónica norteamericana. Están formadas de las mismas calizas que en el Petén (región B2), pero fuertemente plegadas aquí, durante las fases tectónicas laramienses (-35x10⁶ años). Estas cordilleras contienen también intercalaciones de esquistos que pertenecen al "complejo de base" del Permo-Carbonífero y a series cristalófilas mucho más antiguas.

2.2.3.2 Suelos

Las asociaciones de suelos dependen: (i) del vigor del relieve (Guatemala), (ii) de la naturaleza de la roca madre entre un polo neutro (calizas) y un polo más ácido (esquistos), (iii) finalmente de la lixiviación de las bases más o menos intensa dependiendo de la pluviometría. Aparece una secuencia climática que parte netamente de la cuenca vertiente del río Chixov, húmeda hasta la región de Copán más seca con la serie: Acrisoles/Luvisoles/Cambisoles. Tenemos las asociaciones siguientes:

- *Luvisoles* crómicos en zona accidentada, semi húmeda, en calizas de Guatemala y de Honduras (Rhodoxeralfs, Haploxeralfs), L. férricos

en zona igualmente accidentada pero más húmeda y sobre rocas ácidas de Guatemala (Haplustalfs), L. Háplicos en las zonas menos accidentadas de los dos países (Ustalfs y Udalfs).

- *Acrisoles* háplicos en Guatemala húmeda del río Chixoy (Hapludults o Haplustults según el pedoclima y por ende la exposición de las vertientes).
- *Cambisoles* crómicos en zona semi húmeda sobre las calizas o tobas volcánicas básicas (Eutrochrepts, Ustochrepts), C. cálcico en zona seca sobre las calizas (Eutrochrepts, Ustochrepts).
- *Algunos Rendzines* (Rendolls) sobre las calizas erosionadas.
- cabe mencionar también los Nitisoles, Fluvisoles y Gleysoles éutricos del lago Izabal.

2.2.3.3 Aptitud para la caficultura

Algunas unidades son recuperables en esta región. La principal dificultad viene del poco espesor de estos suelos, a menudo guijarroso y que guardan poca agua utilizable en zonas que todavía son relativamente secas. El relieve limita por otro lado las posibilidades de una irrigación de bajo costo. Los Acrisoles no son aptos, salvo si se les practican mejoras costosas en una región donde existen suelos mucho mejores (por ejemplo A10). Los Luvisoles y Cambisoles son por el contrario aptos, pero con algunos aspectos negativos dependiendo de las unidades:

- Luvisoles crómicos: de fertilidad química media pero homogénea, mas son pedregosos y erosionables. Se puede considerar una irrigación en las zonas menos accidentadas.
- Luvisoles férricos: fertilidad química mucho más baja, son a menudo pedregosos en zona accidentada.
- Cambisoles éutricos o crómicos: *son los más interesantes de la serie*; presentan una saturación de bases mayor al 50%. Poseen a menudo una textura franca pero sus tasas de materia orgánica son bajas.
- Cambisoles cálcicos y, *a fortiori*, Rendzines: deben rechazarse, son suelos secos, de fuerte antagonismo calizo (CO_3^{2-} y Ca^{2+} intercambiable), lo que disminuye la disponibilidad del fósforo. Son también suelos de baja densidad, gravillosos en una zona muy accidentada.

2.2.4 *Las tierras altas volcánicas ácidas, sedimentarias Terciario y cristalófila de Guatemala, de Honduras, del Salvador y de una parte de Nicaragua: región A8*

2.2.4.1 Fisiografía

La destrucción de la superficie de abrasión del Plioceno ha dado un relieve montañoso profundamente entallado por una red hidrográfica esencialmente de tributaria del Atlántico. Los valles son planos, se extienden sobre unos 3 a 5 km y se delimitan por las cordilleras montañosas que culminan entre 1400 y 1500 msnm. Se encuentran rellanos hacia los 1200 metros con espesas alteraciones ferralíticas, testigos de la antigua superficie Pliocena. Las rocas madres son: (i) rocas efusivas ácidas (riolitas, ignimbritas) así como sus productos de destrucción (conglomerados, areniscas, lutitas, argilita); (ii) rocas cristalófilas relativamente ácidas; (iii) finalmente, más al sur, coladas basálticas que han fosilizado la antigua superficie.

2.2.4.2 Suelos

El conjunto fisiográfico da suelos diferenciados por una insaturación del complejo de intercambio correlacionado con el aumento del drenaje y por ende con la pluviometría; en presencia de un drenaje idéntico, las rocas básicas proveen suelos que se acidifican evidentemente menos. Esta secuencia climática, que se desarrolla en un suroeste más seco y un noreste húmedo, da como resultado los siguientes suelos: Cambisoles/Luvisoles/Nitisoles/Acrisoles.

- *Acrisoles* háplicos en Guatemala, A. húmicos (Humults) que dominan en Nicaragua, más precisamente al noreste de una línea Somoto–Matagalpa–Boaco–Acoyapa, se vuelven plínticos hacia la costa del Caribe.
- *Luvisoles* órticos/Haploxeralfs) en Guatemala, L. férricos (Haplustalfs) en Nicaragua.
- *Los Nitisoles* cubren la misma zona climática que los Cambisoles, pero son mucho más densos, más evolucionados que estos últimos: son dystricos incluso férricos en Nicaragua (Rhodochrufts o Paleudalfs), en clima semi húmedo de altitud, y en las antiguas alteraciones ferralíticas o sobre rocas efusivas ácidas. Se vuelven éutricos en El Salvador en las antiguas coladas basálticas.

- *Los Cambisoles* no existen más que en Honduras y en El Salvador donde son dystricos porque están diferenciados en los macizos riolíticos (*Dystrochrepts*).

2.2.4.3 Aptitud para la caficultura

Aptitud de muy baja a baja para los Acrisoles, Luvisoles y Cambisoles en este conjunto A8:

- Los Acrisoles órticos y húmicos pueden tener buenas características físicas, para una caficultura de muy bajo rendimiento, si se toma en cuenta una fertilidad química extremadamente baja tanto aniónica como catiónica.
- Los Luvisoles tienen fertilidades físicas medianas si son friables y se vuelve mala cuando se hacen gravillosos en un paisaje accidentado.
- Contrariamente a los Cambisoles éutricos, los C. dystricos son poco aptos con CIC superior a 50% y horizontes A poco húmicos (ótricos).
- Los Nitisoles salvadoreños éutricos sobre basaltos son *física y químicamente* interesantes para el *C. arabica*. Los N dystricos sobre las antiguas alteritas de los rellanos montañosos tienen buenas propiedades físicas pero están muy dispersos, cubren escasas superficies y a menudo están demasiado altos.

2.2.5 *Las tierras altas volcánicas básicas del Terciario de la parte ístmica (Nicaragua, Costa Rica, Panamá): región A9*

2.2.5.1 Fisiografía

Esta región A9, que no debe confundirse con los arcos volcánicos actuales de la región A10, constituye el armazón de la parte estrictamente ístmica de América Central. Comienza en el ámbito de la depresión nicaragüense (lagos de Managua y de Nicaragua), atraviesa Costa Rica y se extiende hasta la frontera colombiana por la cordillera de Darién. Las rocas madres son sobre todo tobas y conglomerados volcánicos de edad Terciario. Como una parte del vulcanismo, en esa época, era todavía marino, se encuentra también intercalaciones de calizas arrecifales. A manera de simplificación, se relacionó este conjunto volcánico Terciario con los granitos y dioritas del sur de la cordillera de Talamanca, así como todas las "Filas Costeras" sedimentarias arcillosas, calizas, areniscas del Mioceno

costarricense y finalmente las rocas ultrabásicas de las penínsulas de Nicoya y de Osa relacionadas con la costa por la subducción de las placas tectónicas. Hacia la costa caribe, la destrucción de este conjunto A9 provee los materiales a partir de los cuales se diferenciaron los suelos de las tierras bajas de la región B3.

2.2.5.2 Suelos

De Nicaragua a Panamá, se encuentran los siguientes suelos:

- *Acrisoles*: Los A. húmicos de altitud de Costa Rica y de Panamá (Humults) conllevan un horizonte húmico úmbrico de al menos 20 cm de profundidad que, por efecto del clima, tiene una baja saturación de bases sobre la totalidad del perfil.
- *Cambisoles*: se distinguen por el estado de saturación del complejo absorbente, y en la formación de arcillas saturadas en condición de confinamiento; los C. éutricos (Eutrochrepts), saturados en bases ocupan las rocas básicas en Nicaragua y en Costa Rica; los C. dystricos (Dystrochrepts), insaturados ocupan las rocas ácidas en Nicaragua y en Costa Rica (coluviones graníticos de Talamanca sur); son escasos en Panamá; finalmente en Nicaragua, los C. éutricos pasan a los C. vérticos con una génesis arcillosa esmectítica hacia la depresión de las orillas este de los lagos.
- *Luvisoles*: Los L. órticos son escasos, los L. crómicos, marrón vivo y rojos (Rhodoxeralfs) dan testimonio de una neta movilización del hierro, son litodependientes en la “Filas Costeras” y parte de las penínsulas costeras Pacífica de Costa Rica y Panamá.
- *Nitisoles*: (a menudo Paleudalfs) son éutricos en la depresión nicaragüense. En Panamá son insaturados en bases en la superficie, a causa de la fuerte precipitación, a pesar de su formación sobre rocas efusivas básicas.
- Se presentan pequeñas superficies de suelos más o menos saturados por el agua: los Gleysoles del lago de Nicaragua y de los golfos de Panamá, y finalmente los Histosoles de los manglares costeros de Costa Rica y de Panamá.
- De manera anecdótica, se señala una pequeña unidad de Ferrasoles órticos (Orthox) que está cerca de la frontera colombiana, pero estos suelos son totalmente desconocidos en el resto de América Central.

2.2.5.3 Aptitud para la caficultura

- *Aptitud muy baja a baja* para los Acrisoles y Luvisoles órticos.
- *Aptitud media* para los Acrisoles húmicos de Costa Rica, los Nitisoles dystricos de Panamá, los Cambisoles vérticos de Nicaragua y algunos Gleysoles éútricos y friables de los valles y fondos de golfos en Costa Rica y Panamá.
- *Aptitud alta* para los Luvisoles crómicos de las colinas costeras, los Cambisoles y Nitisoles éútricos de Nicaragua y de Costa Rica. Estos últimos, genéticamente ligados a los Andosoles de la región A10, poseen todavía características físicas excelentes.

2.2.6 *La cordillera y el altiplano volcánicos Cuaternarios (Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá): región A 10*

2.2.6.1 Fisiografía

La Cordillera volcánica corre a lo largo de la costa del Pacífico de manera casi ininterrumpida desde Guatemala hasta la frontera panameño-costarricense. Está formada a partir de las emisiones recientes de 66 volcanes, de los cuales 15 están actualmente en actividad. Sus cenizas, lapillis, escorias y lavas reposan sobre las formaciones Terciario del conjunto A9.

2.2.6.2 Suelos

Los suelos son esencialmente Andosoles y suelos relacionados que son ya sea menos o más evolucionados que los andosoles: (i) todavía no andosoles, ricos en vidrio de volcán, ya que están poco alterados (vítricos), (ii) más evolucionados cuando han perdido los geles amorfos, los cuales son sustituidos por arcillas cristalizadas que protegen mucho menos los compuestos húmicos de cualquier mineralización; estos suelos, con una tasa de descomposición de la materia orgánica acelerada, son de esta manera, a menudo más claros que los Andosoles cercanos. Después de una deposición de materiales piroclásticos, el período de existencia de un andosol se escalona entre algunos siglos y algunas decenas de miles de años, el límite superior puede ser empujado en el caso de que haya un clima demasiado frío que pueda acentuar la acumulación de compuestos húmicos, de ahí el color muy oscuro de estos suelos.

Andosoles, se distribuyen por secuencias líticas o por secuencias climáticas:

- *secuencias líticas*: causa de diferenciación constante en todos los países del istmo y dan por un lado los A. vítricos (Udivitrands y Ustivitrands) y a veces, los Regosoles (Psamments), formados sobre piroclastitas recientes y de granulometría gruesa, cercanas a los cráteres y por otro lado los A. húmicos (Melanudands) y friables (Eutric Hapludands) sobre materiales más evolucionados o más finos de las vertientes,
- *secuencias climáticas*: en Guatemala, los A. húmicos insaturados de las zonas más húmedas cercanas a la frontera mexicana se oponen a los A. friables no insaturados del altiplano más seco (lago Atitlán por ejemplo). En Costa Rica, las vertientes que están expuestas a los vientos alisios del Atlántico soportan A. húmicos e hídricos (Hydrudands) que tienen contenidos de agua a capacidad de campo (CC) comprendidos entre 100% y 300% del peso del mismo suelo seco!

Nitisoles éutricos (Udalfs a Udults), con la disminución del contenido en geles amorfos y en materia orgánica y de la pluviometría, y con el aumento de la temperatura, los Andosoles pierden sus características ándicas y se transforman en suelos de arcillas cristalizadas (halloisita, caolinita), susceptibles de migrar a las profundidades y de dar suelos más o menos lavados. Se pasa entonces a los Nitisoles éutricos o dystricos dependiendo de la menor o mayor saturación del complejo absorbente. En una vertiente húmeda y sobre cenizas andesíticas, estos Nitisoles sucedieron a los Andosoles y preceden suelos muy lavados (Acrisoles), luego los suelos hidromorfos o aluviales del valle.

Vertisoles (Vertisoles), la asociación Andosoles/Vertisoles se produce en condiciones más secas, sobre piroclástitas (cenizas basálticas), y con un segmento deprimido o plano pero no hidromorfo. Esta situación es propicia para la formación de arcillas (esmeclitas), es el caso de algunas porciones de costa Pacífica de Guatemala, del Salvador y de Nicaragua.

2.2.6.3 Aptitud para la caficultura

La *fertilidad química* de los Andosoles se puede reconocer por los contenidos relativos en sílice y aluminio: los andosoles menos evolucionados son ricos en sílice ($\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 \approx 3,5$), tienen una alta CIC (hasta 120 cmol (+) kg^{-1}), y retienen poco el fósforo que está entonces disponible

para las plantas. Por otro lado, los Andosoles muy evolucionados son ricos en aluminio ($\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 \# 0,5$), tienen una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC de 10 a 60 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) pero retienen fuertemente el fósforo que no está entonces disponible para los cultivos.

Los Andosoles son probablemente los suelos que, a nivel mundial, que poseen las *mejores características físicas* que es posible observar (porosidad, alimentación hídrica, estabilidad de la estructura), pero como son explotados a menudo en condiciones extremas (pendientes, mecanización en suelo saturado, denudación de la superficie, etc.), su umbral de degradación puede ser alcanzado brutalmente con erosiones excesivas, aspecto que será evocado en la segunda parte de este capítulo.

Los *Andosoles blandos y húmicos son los más aptos*. Los más "secos" (A. friables) llegan a compensar por alturas notorias de ascensión capilar los déficits hídricos de la estación seca. Los más "húmedos" (A. húmicos) drenan, como si fueran esponjas saturadas, los excesos de agua sin problemas de hidromorfia.

Los *Nitisoles y Acrisoles genéticamente ligados a los Andosoles son también suelos buenos* para los cafetos: su estructura recuerda la de los andosoles, pero, para los más arcillosos, su economía de agua es menos buena debido a que la gama de agua utilizable por parte de las plantas es más estrecha y sobre todo, está desviada hacia fuertes humedades.

Los *Andosoles super hidratados* son menos interesantes, a menudo con alta saturación de aluminio, al menos en la superficie, con todos los problemas conexos que esto supone: hiperacidez, fuerte retención del fósforo, baja CIC.

Los Andosoles vítricos están generalmente situados a altitudes muy grandes para que puedan soportar zonas cafetaleras interesantes (temperatura demasiado baja, incluso helada), en situación límite, se hacen muy frágiles cuando están desnudos (ver cuadro 3-1), tienen una baja retención de agua y mediocres posibilidades de ascenso capilar ya que su textura es verticalmente heterogénea. Es el problema de los depósitos jóvenes del altiplano guatemalteco.

Estas dos últimas regiones fisiográficas constituyen evidentemente las zonas más propicias para las plantaciones de *Coffea arabica*. Están situadas en las cordilleras y tierras altas, y los riesgos de erosión son altos. Es el tema del acápite siguiente.

3 *Los Comportamientos Hídricos y Erosivos de los Andosoles y los Suelos Asociados (Regiones A9 Y A10)*

La erosión está provocada por la escorrentía de las precipitaciones. Por lo tanto, antes de estudiar la erosión, es preciso considerar los comportamientos hídricos de los suelos.

El agua de precipitación que escurre a la superficie del suelo es el agua que no se infiltró hacia las capas profundas. Una característica esencial de una superficie que permite predecir las escorrentías con determinadas intensidades de precipitación es el coeficiente de infiltración (porcentaje del agua que se infiltra). Este coeficiente depende de la humedad de la superficie, es generalmente más alto cuando la superficie del suelo está seca.

Una vez estudiados los comportamientos hídricos de los suelos, se pueden considerar sus comportamientos erosivos. La erosión depende de elementos muy diversos, ligados a las características de la vertiente, de la cobertura de la superficie y de su humedad, de la precipitación (intensidad, duración, tamaño de las gotas), entre otros. Es entonces un fenómeno que es complicado de predecir. Sin embargo, se han realizado experimentos de simulación de lluvias, en condiciones semi-controladas, donde se riega con cierta fuerza y cierta intensidad una pequeña parcela. Se mide, durante la precipitación simulada, la carga sólida del efluente.

Se realizaron experiencias de simulación de lluvias sobre parcelas experimentales en Costa Rica. Permiten, entre otras cosas, evaluar los coeficientes de infiltración y los riesgos erosivos en que incurren los suelos que soportan diferentes cultivos, entre ellos *las plantaciones de café* (Bermúdez, 1980). El cuadro 3-1 provee información sobre la *infiltrabilidad* de los suelos sometidos a diversos tratamientos y que soportan diferentes coberturas. El agua que no se infiltra escurre a la superficie del suelo. El cuadro 3-2 presenta el valor de la *erosión* para las mismas situaciones, resultado de un aguacero simulado de 100 mm cuya distribución de intensidad coincide con la de un aguacero tropical clásico (Gutiérrez, 1987). La erosión depende de la cantidad de agua escurrida (cuadro 3-1) y de la carga sólida que contiene cada milímetro de agua escurrida.

Cuadro 3-1. Comportamiento hídrico según los suelos y las situaciones culturales.

Situaciones de cultivo	Estado de humedad del suelo	Coefficiente de infiltración
<i>Andosol húmido arcilloso (Melanudand) de San Juan Sur, pendiente 25%</i>		
Café	saturado	44%
Maíz	saturado	11%
Desnudo labrado	saturado	44%
<i>Andosol vítrico arenoso (Udivitrand) del volcán Irazú, pendiente 30%</i>		
Pastizal natural (pasto "kikuyo")	saturado	2%
Pastizal escarificado (pasto "kikuyo")	saturado	41%
Desnudo labrado	saturado	9%
Desnudo labrado	húmedo	10%
<i>Nitisol dystrico arcilloso (Udalf) de Buenos Aires, pendiente 2%</i>		
Café	seco	83%
Desnudo labrado (en sitio cafetalero)	seco	3%
Desnudo labrado	húmedo	13%
Piña	seco	4%
Piña	saturado	15%
Desnudo labrado (en sitio de piña)	húmedo	11%

Cuadro 3-2. Comportamientos erosivos según los suelos y las situaciones culturales para un aguacero de 100 mm.

Situaciones de cultivo	Estado de humedad del suelo	Carga sólida por mm escurrido (g.l ¹)	Erosión por 100 mm de lluvia (kg. ha ⁻¹)
<i>Andosol húmico arcilloso (Melanudand) de San Juan Sur, pendiente 25%</i>			
Café	saturado	0	0
Café	seco	0	0
Maíz	saturado	1,6	139
Maíz	seco	0,2	< 20
Pastizales	saturado	0,2	?
Pastizales	seco	0,2	102
Desnudo labrado	saturado	9,8	878
Desnudo labrado	seco	4,1	200
<i>Andosoles vítrico arenosos (Udivitrand) del volcán Irazú, pendiente 30%</i>			
Pastizal natural	saturado	0,4	13
Pastizal escarificado	saturado	0,2	< 5
Desnudo labrado	saturado	66,8	23840
Desnudo labrado	húmedo	44,9	12300
Desnudo labrado	seco	2,1	< 200
<i>Nitisol dystrico arcilloso (Udalf) de Buenos Aires, pendiente 2%</i>			
Café	saturado	0	0
Café	seco	0,2	112
Desnudo labrado (sitio de café)	húmedo	25,8	1430
Desnudo labrado (sitio de café)	seco	5,6	< 200
Piña	saturado	1,2	154
Piña	seco	0,2	< 20
Desnudo labrado (sitio de piña)	húmedo	1,3	718
Desnudo (sitio de piñas)	seco	1,0	?

3.1 *Comportamiento hídrico*

3.1.1 *Los suelos desnudos, no labrados*

Esta situación cultural permite revelar más estrictamente el comportamiento del suelo. Las características de los suelos susceptibles de modificar la infiltración son: (i) los diámetros de porosidades abiertas sobre la superficie que controla más o menos la infiltración (se habla de conductividad hidráulica en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$), (ii) la capacidad de reserva del suelo poroso en profundidad así como el volumen ya ocupado por el agua (la relación vacío/lleño es el "déficit de saturación" del suelo en %).

Considerando lo anterior, es posible distinguir el comportamiento de los Andosoles húmicos de San Juan Sur (altos del valle de Turrialba, en Costa Rica), con respecto al de los Nitisoles de Buenos Aires (Valle del General, Costa Rica), mientras que los Andosoles vítricos del volcán Irazú representan otra situación.

3.1.2 *Las reservas de los Andosoles y de los Nitisoles*

Los Andosoles húmicos de San Juan del Sur se mantienen húmedos a lo largo del año y son poco sensibles a las variaciones de la duración de secado entre dos aguaceros consecutivos. Sobre Andosol intacto, la capacidad de reserva está ligada a la microporosidad, esta reserva aumenta conforme aumenta la hidratación, lo cual es una particularidad ligada a la presencia de geles amorfos (hidróxidos de aluminio o alofanos) en su fracción arcillosa.

Los Nitisoles de Buenos Aires, por el contrario, presentan macroporos, propiedad clásica de los suelos caoliníticos ricos en óxidos de hierro y de aluminio, lo que permite que se saturen y se vacíen rápidamente por drenaje profundo.

El labrado frecuente de los Andosoles, modifica los horizontes superficiales y destruye los geles amorfos por secado irreversible, aparece entonces una macroporosidad que presenta la particularidad de poder vaciarse rápidamente entre dos aguaceros consecutivos.

3.1.2.1 *La conductividad hidráulica superficial de los Andosoles y de los Nitisoles*

El cúmulo de energía de los aguaceros provoca la formación de organizaciones peliculares estructurales superficiales (Casenave y Valentin,

1988). Esta película resulta de la fusión parcial de la faz aflorante de los conglomerados o de los terrones. Se encuentran estas películas en los dos tipos de suelo, pero la diferencia entre ellos reside en la amplitud de la degradación inicial así como en la duración y el resultado de los procesos físicos y biológicos de reconstrucción de la estructura original, de ello resultan dos tipos de conductividad hidráulica en estas superficies:

- sobre los *Andosoles de San Juan Sur*, el relleno ligado a las películas estructurales es lento de obtener y sólo tiene importancia para el 15% de la superficie. Las reconstrucciones estructurales son luego rápidas y totales. La conductividad máxima se acerca a los 90 mm.h⁻¹ al final de una semana de secado.
- en los *Nitisoles labrados del lugar donde se cultiva café en Buenos Aires*, estas películas estructurales aparecen más rápidamente a expensas de los terrones finos provenientes de los horizontes A1 y AB, cubren 40% a 65% de las superficies, las reconstrucciones estructurales son más largas y se siguen siendo parciales. La conductividad máxima no alcanza en un suelo ampliamente secado sino 20 mm.h⁻¹.
- en los *Nitisoles labrados de un sitio donde se cultiva piña en Buenos Aires*, estas películas estructurales aparecen igualmente, pero no cubren sino 20 a 30% de las superficies ya que se forman por desagregación de los terrones de labranza más gruesos que provienen del horizonte B2 que aflora actualmente después de 30 años de erosión debido al monocultivo de piña (3.700 t.ha⁻¹ o sea 117 t.ha⁻¹.año⁻¹). La conductividad máxima sube entonces, sobre un suelo ampliamente secado, hasta 60 mm.h⁻¹.

3.1.2.2 Comportamiento hídrico particular de los suelos vítricos del Irazú

Los Andosoles vítricos arenosos finos del Irazú tienen reservas porosas profundas importantes. Escurren menos desnudos y labrados que cuando están cubiertos de zacate "kikuyo" por razones que serán evocadas después. Se erosionan muy rápidamente y muy fuertemente como para que puedan formarse algunas películas superficiales. Los rechazos de infiltración están entonces únicamente ligados a una saturación de reservas profundas y a la infiltrabilidad general, no controlada por la superficie, sino por todas las causas susceptibles de modificar las redistribuciones internas de los flujos (interestratificaciones de cenizas originadas por las diferencias de compactación).

3.1.3 *La influencia de las coberturas vegetales sobre la hidrodinámica*

Se encuentran aspectos relativamente bien conocidos en cuanto al control del escurrimiento por atenuación de modificaciones estructurales de la superficie del suelo. Las modificaciones estructurales superficiales que tienden a rellenarse están suprimidas o fuertemente atenuadas en la *pradera* de baja altitud, bajo un sistema *agroforestal* que asocia *Erythrina* y maíz así como bajo café. La atenuación es menor bajo maíz, se vuelve casi nula bajo piña poco protectora y cuyos campos muestran fuertes escurrimientos.

3.1.4 *El caso particular de la hidrofobia de los pastizales de altitud sobre suelos vítricos*

La red de raíces de las praderas densas de las altitudes del Irazú parecen formar una "barrera hidráulica" que limita en forma más o menos durable y fuerte las infiltraciones. Este efecto, que puede parecer paradójico, ya fue observado en otros lados: cubiertas forestales de altitud en Costa de Marfil (Casenave *et al.*, 1982), Caatinga brasileña, (Leprun, 1988) y los páramos de Ecuador (trabajos en realización). En estos casos, la red de raíces muy densas del "kikuyo" da origen al escurrimiento extremadamente elevado, proceso del cual se deriva la importancia de una gestión integrada de las vertientes que conllevan campos intensamente cultivados y frecuentemente desnudos en las partes bajas.

El origen de esta hidrofobia es probablemente múltiple:

- acumulación de aire en un enfurtido de raíces denso e hidrófobo,
- orgánico mineral ligada a funciones hidrófobas de compuestos húmicos (Capriel, 1997).

Esta barrera hidráulica fue levantada sobre los suelos vítricos del Irazú por una escarificación con pico de la superficie donde hay hierba (4 golpes en 1 m²), lo que provoca la salida del aire del suelo. La comparación de los coeficientes de infiltración que pasan de 2 a 40% en el cuadro 3-1 muestra claramente esta restauración de la infiltrabilidad.

3.2 *Comportamiento erosivo (ver cuadro 3-2)*

3.2.1 *Los suelos desnudos, labrados*

Se han observado cargas específicas considerables (superiores a 65 g.l⁻¹) en parcelas de *Andosoles vítricos arenosos del Irazú* (pendiente de 30 %).

A pesar de que son mucho más débiles, las pérdidas de suelo de los *Andosoles húmicos arcillosos de San Juan Sur* (pendiente de 25%) son todavía consecuentes (5 a 10 g.l⁻¹).

Los *Nitisoles no erosionados (en sitio de cultivo de café) de Buenos Aires* presentan igualmente fuertes cargas específicas (5 a 25 g.l⁻¹) si se toma en cuenta la poca pendiente del terreno. Los *Nitisoles erosionados sobre 30 cm del sitio de cultivo de piñas* presentan cargas más débiles (1 a 1.5 g.l⁻¹) ya que la estructura se derrumba rápidamente, el suelo se alisa, el espesor de la lámina de agua de escurrimiento intercepta entonces fuertemente la energía de las lluvias. Esta autoprotección se manifiesta más escasamente en los suelos jóvenes del istmo centroamericano salvo cuando, como aquí, son maltratados.

La convergencia de la pérdida de suelo entre *Andosoles* y *Nitisoles* labrados no debe sin embargo ocultar los *modos de erosión totalmente diferentes*:

- en los *Andosoles húmicos de San Juan Sur*, se pierde el suelo en forma de pequeños conglomerados que se despegan capa tras capa de la superficie;
- en los *Nitisoles de Buenos Aires*, esta pérdida de conglomerados no representa sino una pequeña parte de las pérdidas totales, la mayoría se pierde en forma de elementos totalmente desligados;
- los suelos *vítricos del Irazú* se abarrancan y presentan los riesgos erosivos más importantes.

3.2.2 Coberturas vegetales

Las pérdidas de los suelos cubiertos son muy bajas cualquiera que sea el tipo de suelo. Las cargas específicas se mantienen entonces inferiores al gramo por litro salvo en las parcelas poco secadas cultivadas ya sea con maíz (*San Juan Sur*), pero sobre todo con piña (*Buenos Aires*). En estas dos situaciones, las superficies están mal protegidas contra el impacto de las gotas, y tienen capacidades de desprendimiento cercanas. Por lo tanto, las pérdidas dependen de los caudales del escurrimiento, lo cual desfavorece mucho las parcelas cultivadas de piña, inclusive en pendientes bajas. Las coberturas agroforestales y los cafetos limitan totalmente el desprendimiento de las partículas.

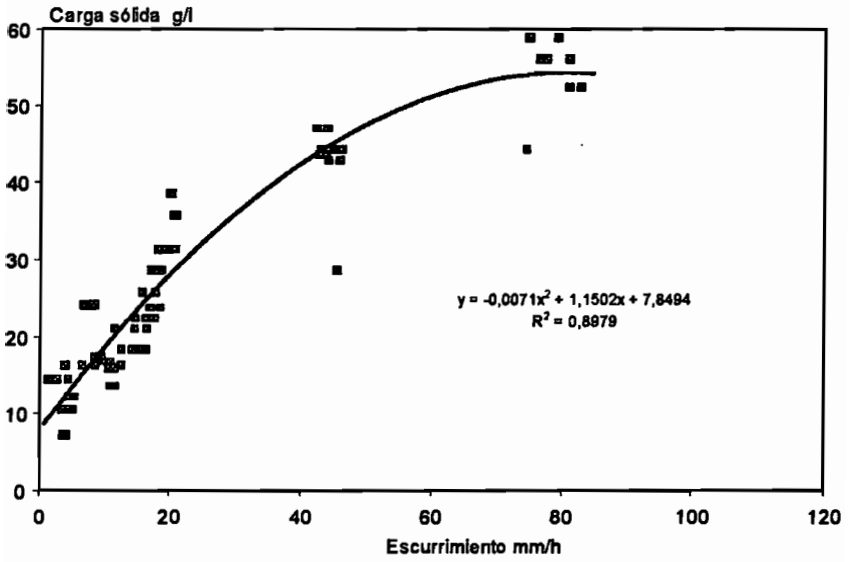


Figura 3-2. Relación carga sólida-escorrimento en Andosol vítrico labrado del Irazú.

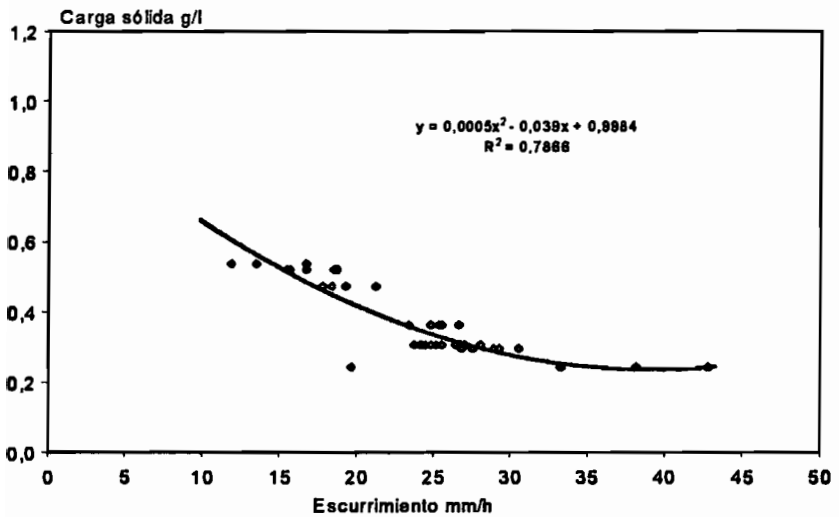


Figura 3-3. Relación carga sólida-escorrimento sobre Nitisol erosionado en terreno plantado de piñas, plantaciones campesinas de Buenos Aires.

Las figuras 3-2 y 3-3 ilustran dos ejemplos de comportamientos erosivos, uno catastrófico en los *Vitrosoles labrados* del Irazú, el otro más moderado, en las plantaciones campesinas de piña en los Nitisoles erosionados de Buenos Aires. En suelos frágiles, notamos generalmente evoluciones asintomáticas de los gráficos de las cargas sólidas (CS) en función del escurrimiento (E), que corresponden a una disminución de la capacidad de los flujos para el transporte de cargas que se vuelven excesivas (CS^a 55g.l⁻¹ para $E = 80$ mm.h⁻¹ en el Irazú). Por el contrario (figura 3-2), las disminuciones de cargas para intensidades de flujo crecientes indican ya sea un agotamiento de los elementos exportables, es el caso de los Andosoles *con hierba* de San Juan Sur o del suelo vítrico del Irazú, o ya sea un aumento de la resistencia de las parcelas por alisamiento de su superficie, es el caso de los Nitisoles erosionados bajo *piña* de Buenos Aires.

Podemos sacar dos grandes conclusiones del análisis de los comportamientos hídrico y erosivo de estos suelos:

- Las características hídricas excepcionales de los andosoles húmicos, suelos cafetaleros por excelencia, permiten que resistan relativamente bien la erosión a pesar de las pendientes frecuentes de las vertientes donde se encuentran. Sin embargo, cabe recordar que estas características se deben a la existencia de geles amorfos, relativamente frágiles.
- La existencia de la cobertura de café participa también en la reducción de la erosión de los suelos: se ha visto que la presencia de cualquier cobertura, y en particular la que provee el cultivo de café, permite reducir la erosión en comparación con los suelos desnudos. Sin embargo, en los suelos cuyas características hídricas no son tan buenas, se presenta erosión incluso bajo cobertura de café.

Las características físicas de los suelos cafetaleros, particularmente de los andosoles, son generalmente buenas. El acápite siguiente trata de sus características químicas en relación con las necesidades en nutrimentos de los cafetos.

4 *La Fertilización de los Suelos Cafetaleros*

4.1 *Aspectos generales de la nutrición mineral del café*

La experiencia indica que el café crece bien en una variedad bien amplia de condiciones de suelo. Debido a su sistema de raíces amplio en condiciones adecuadas, se estima que hace falta un suelo relativamente profundo para su desarrollo apropiado. Algunos autores (Küpfer, 1983) indican 1.2 m como la profundidad de suelo adecuado para una buena producción.

El café retira los nutrientes de las capas superficiales de los suelos, justamente donde se ubican una gran proporción de sus raíces absorbentes (Sáiz del Río *et al.*, 1961). Para poder suministrar estos nutrientes, se requieren suelos de textura mediana, ya que los muy arcillosos hacen difícil la adecuada aireación de las raíces. Para ello se requiere una porosidad del suelo con aproximadamente un tercio de macroporos y dos tercios de microporos. Con ello se asegura además el movimiento del agua y aire necesarios para el adecuado crecimiento de las raíces.

Las variedades con alta capacidad de producción y sembrados con alta densidad de siembra, requieren una gran cantidad de nutrientes para obtener abundantes cosechas; por esta razón salvo pocas excepciones, se requiere de programas intensivos de fertilización para satisfacer las necesidades de las plantas y a su vez restituir la fertilidad de los suelos.

El grado de meteorización del suelo cafetalero tendrá una gran influencia en su fertilidad, al igual que el tipo de manejo recibido. Las técnicas modernas de producción, basadas en altas densidades de siembras, requieren niveles de fertilidad altos y permanentes, que solamente se pueden mantener con base en un control constante de la fertilidad del suelo y de las técnicas de abonamiento diseñadas con base en un programa integral de evaluación de esta.

Como el de suplir agua es otra de las tareas esenciales del suelo, si éste es de textura gruesa y de baja capacidad de retención de agua, es más necesario que sea profundo para asegurar un volumen mayor para las raíces, especialmente en épocas limitantes de disponibilidad de agua. En caso de suelos arcillosos es fundamental que estos tengan una buena estructura para asegurar una adecuada aireación de las raíces. Otro problema físico incorregible es la pedregocidad pues esta reduce el volumen de suelo disponible a las raíces y hace difícil su expansión. En general un 15 a 20% de pedregocidad es el máximo que permite una buena producción de café.

4.2 El manejo racional de los macronutrientes

4.2.1 La problemática del nitrógeno

Tomando en consideración la planta como un todo, el nitrógeno constituye el principal macronutriente, no obstante es el segundo (cuadro 3-3) si se considera solamente la extracción que produce la cosecha (Carvajal *et al.*, 1969; Segura, 1992).

Cuadro 3-3. Exportaciones de los principales elementos minerales de una hectárea de cafetal (kg de elemento por tonelada de café oro producido). (Síntesis de datos de Ripperton *et al.*, 1935; Castro y Rodríguez, 1955; Forestier, 1969).

Producto exportado	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Café oro	40-60	7-8	35-40
Pergamino	3-7	0.2-0.5	1-3
Pulpa	15-25	2-5	25-40
leña extraída	15-30	2-5	10-20

La materia orgánica del suelo es la fuente por excelencia de nitrógeno el cual lo disponibiliza a través de procesos de mineralización, siendo que en suelos de origen volcánico su liberación es bastante lenta. La lixiviación del nitrógeno es responsable de gran parte de la pérdida de nitrógeno del suelo, el cual alcanza las aguas subterráneas aumentando su nivel de nitrato como lo mostraron Reynolds-Vargas *et al.* (1994), los cuales detectaron el doble de la concentración de nitrógeno por debajo de suelos cafetaleros intensivamente abonados, en comparación con suelos cultivados de pastos sin abonamiento intensivo. Aunque probablemente hay pérdidas en forma gaseosa, no existen datos que ilustren este proceso en el sistema de café.

Otro problema ambiental causado por los abonos de nitrógeno es la acidificación intensiva, debida a la nitrificación rápida, característica de los suelos cafetaleros. Aunque esto afecte solamente una parte del suelo,

la banda de fertilización, en este sitio se ha medido un descenso del pH mayor de dos unidades. Esta acidificación se debe a la nitrificación rápida del nitrógeno inorgánico aplicado, el cual se puede reducir con inhibidores de nitrificación como lo demostró Bornemisza (1986). Se conoce que la pérdida de los abonos nitrogenados es directamente proporcional a la cantidad aplicada (Martínez *et al.*, 1987), por tanto una buena estrategia para reducir la pérdida, consiste en el fraccionamiento de esta fuente (Pacheco *et al.*, 1986).

Estudios sistemáticos realizados en Costa Rica a partir de 1950 han permitido establecer que los cafetos responden en forma económica cuando se aplican niveles de este elemento cercanos a los 300 kg.ha⁻¹.año.⁻¹ (Segura, 1990). Con respecto a las fuentes utilizables, no se ha podido detectar diferencias apreciables entre ninguna de ellas (ICAFE-MAG, 1992); sin embargo, el uso de urea y nitrato de amonio continúan siendo por excelencia las principales formas de fertilización nitrogenada.

No existen buenos métodos de análisis de suelo para guiar el uso del nitrógeno, debido a la gran solubilidad y movilidad que presenta este elemento en el suelo. Así el análisis foliar, la observación de los síntomas foliares visibles y los niveles de productividad, deben ser en adición a la experiencia del campo, las principales guías para la aplicación de este elemento.

A corto plazo el uso de fertilizantes de liberación lenta y quizá la aplicación de abonos líquidos, pueden constituir una excelente alternativa para aumentar la eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados.

4.2.2 La problemática del fósforo

Las necesidades del café por fósforo se manifiesta principalmente en dos etapas del cultivo. La primera se refiere a los años iniciales de formación del arbusto durante los cuales hay un aumento apreciable del material vegetal de la planta. Esta etapa se caracteriza por la conformación del sistema radical, donde el fósforo cumple una función medular. La segunda etapa es la de producción, donde la necesidad del elemento es pequeña, como informa Carvajal (1984).

Con pocas excepciones, no se ha podido determinar respuesta del café a la fertilización con fósforo (Uribe-Henao, 1983; Torres Arias y Cruz Bonilla, 1988; Segura, 1990). Datos generados en varias localidades de Costa Rica ratifican una respuesta errática del café a la fertilización fosfórica (Segura, 1990). Esto no indica como con cierta frecuencia se dice, que el café no responde al fósforo. El afirmar esto equivale a decir que

este elemento no es un elemento esencial en la nutrición del café, situación que obviamente no es correcta. Por la misma razón anterior, la forma más apropiada de referirse a esta situación, consiste en afirmar que el café no responde a la fertilización con fósforo bajo ciertas condiciones de suelo.

Una de las razones que explican la poca respuesta a la fertilización con fósforo, es debido al contenido frecuentemente bueno de materia orgánica de los suelos cafetaleros que por su mineralización puede liberar bastante P. Además, este P al entrar en el sistema en bajas concentraciones es muy poco afectado por los fenómenos de fijación, fenómeno que es muy importante tanto en suelos volcánicos como en aquellos con altos contenidos de sesquióxidos como los Ultisoles y los Oxisoles (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La respuesta al abonamiento con fósforo (roca fosfórica), ocurre más que todo en suelos fuertemente meteorizados cuando éste se aplica en conjunto con N y K. Ya que la pérdida de fósforo por lavado es muy baja, su aplicación continua puede conducir a un acumulamiento lento en el suelo y por tanto hacer innecesario su inclusión en las fórmulas completas, o sea en aquellas que incluyen varios elementos.

Es interesante anotar que el análisis de suelos no ofrece una guía segura para el abonamiento del café con este elemento, ya que en muchos suelos con bajos niveles no se obtiene respuesta a su aplicación. Se considera que el análisis foliar es una mejor guía para la nutrición de fósforo del café.

A pesar de que no es frecuente la respuesta al abonamiento con fósforo la práctica usual en países como Costa Rica, es la de incluir el fósforo en los abonos completos que se usa para suministrar N y K. Estas incluyen dosis reducidas que varían entre 50 a 100 kg P_2O_5 /ha por año (Carvajal, 1984; Segura, 1990). A nuestro criterio esta práctica constituye una buena oportunidad para restituir al suelo el fósforo que es extraído por la cosecha, especialmente en suelos de media a baja fertilidad.

4.2.3 El reto del potasio

El potasio constituye el segundo elemento de importancia cuantitativa en la nutrición del café (Carvajal *et al.*, 1969) pero el primero desde el punto de vista de la extracción por el fruto (Segura, 1992 y cuadro 3-3). En adición a su papel en la nutrición del café donde activa muchos sistemas enzimáticos es conocido su efecto de aumentar la resistencia del café al frío y a la deficiencia de agua (Segura, 1989).

La experiencia acumulada en Costa Rica después de una serie de experimentos que se han realizado para estudiar el efecto de la fertilización potásica sobre la producción, muestran que el café no responde a la fertilización potásica en la mayoría de los suelos donde se cultiva esta especie (Segura, 1990). Esto es, en suelos de origen volcánico, donde existe una gran restitución de este elemento. Por otra parte, los cultivos perennes muestran una alta eficiencia en la utilización de este elemento, quizá porque presentan la habilidad de recircularlo dentro de la planta tal y como lo sugiere Ben-Zioni *et al.* (1971).

Es conocido el efecto sinérgico de la aplicación de nitrógeno con el potasio y por esto este último elemento es un componente permanente de los abonos "completos" usados en la caficultura centroamericana. Desde el punto de vista práctico, en condiciones de Centroamérica se acostumbra utilizar dosis que varían entre 100 y 150 kg de K_2O /ha/año (Segura, 1990).

De las cuatro formas principales de los abonos con potasio se usa más que todo el cloruro por su precio más reducido. En caso de necesidad de azufre el uso de sulfato de potasio permite controlar este problema también y además evita la acumulación de cloruros en las hojas, ya que si este es superior a 2000 mg/kg puede tener efectos tóxicos como una reducción en el crecimiento de las plantas (López, 1969).

La tercera alternativa es el uso del sulfato de potasio y magnesio que es especialmente adecuado cuando ocurre una deficiencia de magnesio, lo cual es bastante usual en suelos de origen volcánico. A pesar de las aplicaciones fuertes de potasio no se ha informado de su acumulación en cafetales, probablemente por ser el elemento que más se exporta del sistema según informa Malavolta (1993).

En general, para el aprovechamiento del K, es de mucha importancia su relación con el Mg y el Ca. Según Küpper (1983) la relación K:Mg:Ca debe encontrarse dentro de los límites de 1:3:9 y 1:5:25 expresados en cmoles/kg de suelo. Esto indica que un abonamiento N-P-K puede ser poco eficiente en caso de un suelo bajo en Ca y/o Mg. El mantenimiento de buenas relaciones K/Mg es también una de las razones para el uso del abono que incluye magnesio como lo es la práctica dominante en Costa Rica y que gana aceptación en el resto de América Central.

4.2.4 Los elementos secundarios: azufre, calcio y magnesio

El azufre lo requiere el café en cantidades apreciables y su respuesta ha sido muy notoria en El Salvador desde los primeros estudios realizados

en la década de los sesenta (Carvajal, 1984). Se ha notado la falta de azufre en suelos bajos en materia orgánica, de textura arenosa, de fuerte lavado y de meteorización avanzada como en oxisoles; sin embargo, pruebas recientes realizadas en Costa Rica (datos sin publicar), muestran una adecuada respuesta a este elemento en suelos volcánicos ricos en materia orgánica. Como el sulfato no es retenido con mucha fuerza por los suelos, el fósforo lo puede desplazar, induciendo la deficiencia del elemento. En condiciones normales la mineralización de la materia orgánica suple los requerimientos de azufre.

En Centroamérica es muy generalizado el uso intensivo del sulfato de amonio con el objeto de resolver el problema del azufre; sin embargo, esta fuente tiene de inconveniente su baja concentración de nitrógeno. A pesar de ello en Costa Rica se está popularizando el uso de una mezcla de urea y sulfato de amonio para aumentar las aplicaciones de nitrógeno, con el beneficio adicional de la inclusión del azufre.

La falta de azufre reduce apreciablemente la cosecha como lo indican datos de Brasil por Freitas *et al.* (1972). La deficiencia se controla usando abonos que contienen sulfato, como el sulfato de potasio o de amonio, superfosfato sencillo o azufre elemental, que se oxida a sulfato en el suelo. Con cierta frecuencia se confunden los síntomas de deficiencia de este elemento con los producidos por el nitrógeno, situación que muchas veces justifica equivocadamente la aplicación de nitrógeno agravando el problema de azufre. Esto ocurre porque es necesaria una buena nutrición con azufre para el adecuado metabolismo del nitrógeno, así al colocar el nitrógeno y no el azufre agrava el problema en vez de solucionarlo.

Debido a que en la mayoría de los suelos el Ca es el catión principal, su deficiencia es poco corriente. En Brasil, donde los suelos son más lavados Malavolta (1993) informa sobre una relación directa entre el Ca en el suelo y la productividad de café. Por el contrario, para Centroamérica, Carvajal (1984) no informa de respuestas positivas al encalado. A pesar de esto, muchos agricultores practican el encalado en cantidades reducidas de 1 a 3 t/ha con frecuencias de colocación que varían entre cada dos o tres años. Algunos estudios realizados en Costa Rica, muestran ausencia de respuesta del cafeto a la aplicación de cal (Segura, 1990); por lo cual mientras no se dispongan de mejores métodos para evaluar su respuesta, puede ser apropiado utilizar el criterio preventivo (el señalado anteriormente) utilizado por la mayoría de los caficultores centroamericanos.

Con respecto al magnesio, su deficiencia es bastante frecuente especialmente en cafetos con abundante cosecha, situación que se agrava por las intensas aplicaciones de potasio que dificultan la absorción de este

elemento. Los estudios referentes a la respuesta a este son bastante escasos, de los cuales vale la pena mencionar algunos que se realizan en Honduras y Costa Rica, por lo que a nuestro criterio, justifica el que se dedique mayor esfuerzo (Corella y López, 1984; Alfaro, 1996; Ramírez, 1996).

Con cierta frecuencia se recurre al uso de óxido de magnesio y de sulfato doble de potasio y magnesio para resolver los problemas de magnesio, por otro lado se utiliza la dolomita proveniente de Guatemala y Honduras, cuando se realizan la práctica de encalado. En caso de suelos volcánicos recientes, la meteorización del material matriz, es fuente potencial de magnesio y de calcio. En este tipo de suelos existe una apreciable variación en la composición de las cenizas, aún dentro de las del tipo semibásico, lo que a su vez establece diferencias en los contenidos de cationes y especialmente de Mg, lo que resulta en suelos con diferentes niveles en este elemento. Los suelos fuertemente meteorizados como los Ultisoles y Oxisoles han perdido sus componentes catiónicos como Ca y Mg y necesitan su reposición por medio de un encalado liviano y el uso intensivo de fertilizantes que contengan este elemento.

4.3 La importancia de los oligoelementos

La deficiencia de oligoelementos es un problema bastante común en la caficultura centroamericana, especialmente en los sistemas de producción intensiva. Los suelos de textura gruesa y con poca materia orgánica son más frecuentemente deficientes. La materia orgánica, por medio de su mineralización, es una buena fuente de la mayoría de los oligoelementos y así suelos con buenos niveles de este presentan menos problemas. Evidentemente, la aplicación de diferentes formas de materia orgánica como boñiga o gallinaza o residuos de cosechas como la broza, contribuye a resolver las deficiencias de oligoelementos. El lavado de suelos, especialmente los de textura gruesa, resulta en la pérdida de los oligoelementos, sobretodo si los suelos son antiguos y muy meteorizados como ocurre con los Ultisoles y los Oxisoles.

Debido a que en adición a su contenido en el suelo, muchos otros factores influyen sobre la absorción de micronutrientes, el análisis de suelos es difícil de interpretar. Se estima que es más conveniente orientarse por los resultados de los análisis foliares y por el registro histórico de producción, ya que estos tienen la posibilidad de predecir más apropiadamente la situación nutricional del cafeto.

La falta de los oligoelementos no solamente afecta la cantidad de la cosecha sino que tiene su influencia sobre su calidad también. Así por ejemplo, se ha podido observar el efecto detrimental de la deficiencia de zinc sobre las propiedades organolépticas del café.

Malavolta (1993) presenta una correlación directa entre el contenido foliar de B en el cultivar Catuaí y su rendimiento. Sobre este particular Chaves (1994) señala que un tenor foliar de boro cercano a los 40 mg kg⁻¹ en el segundo par de hojas, es suficiente para garantizar una buena nutrición en este elemento.

El molibdeno es el elemento que se requiere en la cantidad menor y su deficiencia no ha sido informada en Centroamérica. Debido a que su disponibilidad es muy dependiente del pH, los encalados pueden corregir su eventual deficiencia ya que su disponibilidad aumenta con este valor.

Con respecto al cobre, resultados en Costa Rica (D'Ambrosio, Cabalceta y Bornemisza, 1993) indican una acumulación significativa de este elemento en suelos con tecnología intensiva en comparación con un uso menos intensivo. En caso de presentarse la deficiencia, su corrección se puede realizar efectuando aplicaciones foliares de sulfato de cobre a una concentración del 1% (Braganca, 1985 citado por Malavolta, 1993).

En el caso del manganeso ocurren tanto la deficiencia como la toxicidad por exceso. Las deficiencias ocurren en suelos de pH alto, superiores a siete, en suelos muy lavados y de alto contenido de materia orgánica. La acidificación fuerte de suelos, resultante de un uso intensivo de nitrógeno puede conducir a niveles excesivos, lo que se corrige con un encalado adecuado. Niveles muy altos de Mn pueden resultar en fuertes reducciones de la cosecha y causar deficiencias de Ca, Mg y Fe.

Otro micronutriente que merece especial atención es el zinc, el cual ha recibido bastante atención en varios países de Centroamérica. Parte del Zn total se encuentra en la materia orgánica formando complejos de alto peso molecular poco disponibles. Se requiere de la mineralización de la materia orgánica para que este Zn sea disponible. La deficiencia de Zn es bastante difundida como resultado del lavado fuerte de muchos suelos especialmente en aquellos con textura gruesa, de pH altos y con un lavado fuerte.

Por tradición el uso de fertilizantes foliares ha sido casi la única forma de corregir los síntomas de deficiencia de este elemento, por lo que se le debería dar mayor énfasis a la posibilidad de suplirlo por vía suelo, con lo cual al igual que el magnesio y el azufre, podría proporcionar una economía de tiempo y dinero. Esto resultaría de mayor importancia en los suelos de textura liviana los cuales ofrecen un mejor potencial de

respuesta. Según Aith (1992) y Malavolta (1993) las aplicaciones excesivas de zinc resultan en la reducción de la cosecha por efecto de su fitotoxicidad.

El hierro es el menos estudiado de los oligoelementos catiónicos debido a que no se ha notado que tenga influencia sobre la producción. Se ha informado de su deficiencia en suelos de pH altos. Al otro extremo, los altos niveles de Mn presentes con frecuencia en pH muy bajos, reducen la absorción de Fe, resultando a veces en deficiencias visibles. La corrección de esta deficiencia es muy difícil ya que si se aplican formas solubles de Fe al suelo, estos se insolubilizan excepto si se usan los quelatos que son generalmente de alto costo. La aplicación foliar, la técnica corriente para los otros oligoelementos catiónicos, puede ser una buena alternativa pero sin embargo, salvo pocas excepciones, no se justifica en virtud de que la naturaleza de la deficiencia es estacional.

5 Conclusión

5.1 La generalización del diagnóstico suelo

La tendencia actual es hacia una caficultura cada día más racional, para lo cual el diagnóstico de las propiedades de los suelos debería ser cada día un mejor instrumento de interpretación de las necesidades nutricionales del cultivo. En este particular se deberían realizar más esfuerzos por efectuar estudios de calibración suelo-planta que permitan aumentar la credibilidad del agricultor por este importante instrumento de diagnóstico, con lo cual la cuantiosa inversión en reactivos y equipos de laboratorio será fácilmente justificada. Por otra parte, es importante incluir este recurso dentro de métodos de diagnóstico más integrales como por ejemplo el DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) donde se tome en consideración la múltiple relación de los nutrimentos desde el punto de vista productivo. Sobre este particular Malavolta *et al.* (1989) y Raji (1992) presentan un buen ejemplo de como puede utilizarse esta técnica de una manera rápida y práctica.

5.2 Proyectos especiales de investigación

En los párrafos anteriores se mencionaron algunos de los aspectos más sobresalientes de la nutrición del cafeto; sin embargo, es necesario señalar algunas de las áreas sobre las cuales es importante realizar mayores esfuerzos:

1. Adecuar las necesidades nutricionales de las nuevas variedades e híbridos que ofrecen buenas alternativas a la caficultura de América Central.
2. Realizar estudios tendientes a determinar cuáles son las épocas más apropiadas para efectuar los muestreos foliares con el objeto de que estos puedan utilizarse con éxito en los programas de diagnóstico y fertilización del café.
3. Es necesario conducir estudios que definan con propiedad los requerimientos específicos del café de magnesio y azufre, a efecto de incluirlos sistemáticamente en la fertilización intensiva.
4. Finalmente, el reto mayor en el manejo de la fertilización es la poca eficiencia de los aportes nitrogenados. Las pérdidas de N que ocurren por una fertilización de 300 kg por hectárea y por año se estiman en más de 100 kg. Por consiguiente, conviene realizar estudios de fraccionamiento y estudiar todas las posibilidades de reducción de los aportes de nitrógeno.

Bibliografía

- Aith, F.J.R. 1992. Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta á nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio. (Tesis de maestría). Univ. Federal de Viçosa. 91 p.
- Alfaro, A.R. 1996. Fuentes y dosis de fertilización con magnesio. In Informe Anual de Labores 1995. Departamento de Investigación y Transferencia de Tecnología en Café. ICAFE, Costa Rica. 45-47.
- Bermúdez, M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (Walper) O. F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora* R. & P.) en Turrialba, Costa Rica. Tesis (M. Sc.). Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 74 p.
- Bornemisza, E. 1986. Nitrification retardation studies with dicyondiamide in Costa Rican soils and crops. Transaction, 13th Congr. Internl. Soc. Soil Sci 3:688-689.
- Capriel, P. 1997. Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. European Journal of Soil Science. 48(3): 457.
- Carvajal, J.F. 1984. Café, cultivo y fertilización. 2ª ed. Inst. Internacional de la Potasa, Berna. 254 p.
- _____; Acevedo, A.; López, C.A. 1969. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. Turrialba 19: 13-20.
- Corella, J.F.; López, C. 1984. Respuesta del café (*Coffea arabica* cv *Caturra*) a dosis crecientes de magnesio en un suelo de Grecia, Alajuela. Agronomía Costarricense 8(2): 119-127.
- Coste, R. 1969. El café. Editorial Blume. 255 p.

- D'Ambrosio, A.; Cabalceta, G.; Bornemisza, E. 1993. Acumulación y concentración de cobre en plantaciones de café bajo dos niveles tecnológicos en Andisoles e Inceptisoles. In 9º Congr. Nac. Colegio de Ing. Agr. Vol. 2, 231.
- De Castro, F.S.; Rodríguez, A. 1955. Nutrient losses by erosion as affected by different plant covers and soil conservation practices. National Coffee Growers Association of Colombia, Technical Bulletin, 2: 1-24.
- FAO-UNESCO. 1976. Mapa Mundial de Suelos a 1:5000 000, Volumen III, México y América Central,, 1. mapa de unidades de suelos, de fuentes de información, leyenda de las unidades. 104 p.
- Fassbender, H.W.; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos. IICA, Costa Rica.
- Forestier, J. 1969. Culture du caféier Robusta en Afrique Centrale. Institut Français du café et du Cacao et autres plantes stimulantes. 105 p.
- Franco, C.M. 1965. Fisiologia do cafeiro. In Krug, C.A. *et al.* Cultura e adubação do cafeiro. Inst. Brasileira do Potasio. São Paulo, Brasil. p. 63-80.
- Freitas L., M.M.; Pimentel Gómez, F.; Lott, W.L. 1972. Effect of sulphur fertilizers on coffee. Sulphur Inst. J. 8: 9-12.
- Gutiérrez D., M.A. 1987. Determinación del índice de erosividad de las lluvias y su relación con la cobertura vegetal, suelos y pendientes, para la cuenca del río Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis (Mag.Sc.). CATIE, Turrialba, Costa Rica; UCR, San José, Costa Rica. 127 p.
- Krug, C.A. *et al.* 1965. Cultura e adubação do cafeiro. 2ª ed. Inst. Brasileiro de Potasa. 277 p.
- Küpper, A. 1983. Factores climáticos e edaficos na cultura cafeira. In Malavolta, E., Yamada T. E Guidolin (eds) Nutrição e Adubação do Cafeiro. Inst. do Potassa e Fosfato, Inst. Int. do Potasa.
- López, M. 1969. Problemas de fertilización de suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina. IICA-FAO, Turrialba, Costa Rica.
- Malavolta, E. 1993. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro, colheitas economicas maximas. Editora Agronomica Ceres Ltda. 210 p.
- _____.; Yamada T., Guidolin J. A., 1983. Nutrição e Adubação do cafeeiro. Inst. da Potassa e Fosfato, Inst. Internacional do Potasa. 226 p.
- Malavolta E., Vitti G.C., Oliveira S.A., 1989. Avaliacao do estado nutricional das plantas: Principios e applicoes. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba-SP. 195 p.
- Martínez, G.; Bornemisza, E.; Kass, D.C.L. 1987. El nitrógeno en un sistema maíz-ayote en un *Typic Dystropept* de Turrialba. I. Comportamiento en el suelo. Turrialba 37: 331-335.
- Pacheco, R.; González, M.A.; Briceño, J.A. 1986. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en la lixiviación de nitrato, potasio, calcio y magnesio en un Andept de Costa Rica. Agr. Costarricense 10(1/2): 129-138.

- Paván, M.A.; Chaves, J.C.D.; Siqueira, R.; Andriocilli, F.A.; Roth, C.H. 1993. Densidade populacional de cafeeiros influenciando a fertilidade do solo. In Resúmenes XVI Simposio de Caficultura Latinoamericana. CONCAFE/IICA/PROMECAFE. 12 p.
- Ramírez, R.J. 1996. Fuentes y dosis de fertilización con magnesio. In Informe Anual de Labores 1995. Departamento de Investigación y Transferencia de Tecnología en Café. ICAFE. Costa Rica. p. 41-43.
- Reynolds-Vargas, J.S.; Richter, D.D.; Bornemisza, E. 1994. Environmental impacts of nitrification and nitrate adsorption in fertilized Andisols in the Valle Central of Costa Rica. *Soil Sci.* 157: 289-299.
- Ripperton, J.E.; Goto, Y.B.; Pahan, R.K. 1935. Coffee cultural practices in the Kona district of Hawaii. *Bulletin of Hawaii Agriculture Experiment Station*, N° 75, 18-25.
- Sáiz del Río, J.F.; Fernández, C.S.; Bellavita, O. 1961. Distribution of Absorbing Capacity of Coffee roots determined by radioactive tracers. *Amer. Soc. for Hort. Sci.* 77: 240-244.
- Segura, M.A. 1989. Efeito da pulverizacao com Uréia, Cloreto de potássio e Sacarose sobre a Transpiracao, Potencial Hídrico e Nitrogenio, Potassio e Acucares nas folhas de Mudanças de Coffea arabica L. Submetidas a Défice de Agua, Univ. Fed. Viçosa, 38 p. (Tesis de maestría).
- _____. 1990. Nutrición mineral del café. In Cuarenta años de investigación y transferencia de tecnología en café. Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica-Ministerio de Agricultura y Ganadería. p. 39-58.
- _____. 1992. Extracción de nutrientes por los frutos del café durante su desarrollo. In Informe anual de labores Convenio ICAFE-MAG. Costa Rica. p. 25-27.
- Torres Arias, J.; Cruz Bonilla, J.A. 1988. Suelos cafetaleros de El Salvador. In Curso regional sobre nutrición mineral del café. IICA-PROMECAFE. p. 199-206. Universidad Rafael Landívar; Institute of Environmental Sciences and Agricultural Technology. 1984. Environmental profile of Guatemala: executive summary. AID-Guatemala/ROCAP Contract No. 596-0000-C-00-3060-00. Guatemala. 21 p.
- Uribe-Henao, A. 1983. Efecto del fósforo en la producción del café. *CENICAFE* 34(1): 3-15.

Anexo

Criterios Taxonómicos Resumidos (Sistema FAO-UNESCO)

a) Acrisol

Suelo de acumulación de arcillas aluviales en el horizonte B arcilloso, de fuerte saturación del complejo absorbente con una CIC inferior a 24 cmol. (+).kg⁻¹ de arcilla, de arcilla poco o no activa y con saturación en bases inferior a 50%.

En América Central son húmicos cuando tienen un horizonte A mólico de 20 cm con un grado de saturación (S/T) > 50%, o un horizonte A úmbrico de S/T < 50% o finalmente un horizonte B plíntico (horizonte manchado) que puede endurecerse por simple disecación a menos de 125 cm. O finalmente, son órticos o háplicos cuando no poseen ninguna otra característica que no sean las que definen las Unidades Mayores.

b) Andosol

Suelo friable que contiene menos de 25% de carbono orgánico y que tiene propiedades ándicas en menos de 35 cm desde la superficie. Estas propiedades ándicas resultan de dos procesos de alteración: una hidrólisis bio geoquímica de los vidrios volcánicos (sobre todo las cenizas) y una ácido complexólisis de los materiales aluminicos que producen complejos (Humus-Al-Fe) extremadamente estables. La fracción coloidal está dominada por productos minerales amorfos: geles de hidróxidos (Al, Fe, Mn) y productos para cristalinos (alofanas, imogolitas, hisingeritas) asociadas a los ácidos húmicos. Los criterios alofánicos, en cuanto a ellos, son verificados:

- por una serie de pruebas sobre los contenidos absolutos y relativos y las facilidades de extracción del sílice, del aluminio y del hierro según la granulometría total,
- por la variación de la CIC y la capacidad de intercambio aniónico (CIA) según el pH de la solución de extracción.
- por la retención del fósforo.

Presentan estructura micro agregada, son muy porosos y muy friables. Es áspero al tacto. La densidad aparente es muy inferior a $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$ en un suelo drenado. Las diferentes taxonomías están, de una vez por todas, de acuerdo para utilizar los criterios genéticos. Se tienen tres unidades mayores: los Vitrosolos poco evolucionados no ándicos, no alofánicos; los Sil andosoles ándicos y alofánicos en más de 40 cm y los Alu andosoles muy evolucionados aluminicos, ándicos pero no alofánicos en al menos 40 cm. Otras subdivisiones dan cuenta de la saturación del complejo de intercambio, del contenido de materia orgánica y de las características hídricas particulares.

c) Cambisol

Suelo blando joven o rejuvenecido, posee un horizonte B cámbico de al menos 15 cm de espesor, este horizonte contiene todavía rastros de alteración (es el B/C o el B3 de la antigua nomenclatura de los horizontes). Textura limo arenosa pero con menos de 6% de arcilla. Tinturas no homogéneas atribuibles a los vestigios de alteritas y no a procesos de hidromorfia. Está coronado por un horizonte A, ya sea ócrico de bajo contenido de materia orgánica (claro), o mólico (oscuro, saturado de bases) o úmbrico (oscuro, pero saturado de bases):

En calizas son éutricos en condiciones húmedas, cálcicos en condiciones secas, sobre rocas ácidas son dystricos en condiciones húmedas, crómicos en las tobas volcánicas básicas.

d) Ferralsol

Suelo muy evolucionado, de ahí que es muy antiguo, posee un horizonte ferráltico con: al menos 8% de arcilla, un espesor de al menos 30 cm, una CIC $< 16 \text{ cmol (+).kg}^{-1}$ de arcilla, contiene menos de 10% de minerales alterables en su fracción arenosa fina, una relación limos finos / arcillas $< 0,2$. Las subdivisiones toman en cuenta el color y por ello la liberación más o menos fuerte de óxidos de hierro, el contenido en materia orgánica, y la dureza.

Son suelos "anecdóticos" en América Central (frontera panameño colombiana) donde no existen del todo o ya no hay viejas superficies que hayan podido acogerlos. Son equivalentes a los suelos ferrálticos de la clasificación morfogenética CPCS francesa.

e) *Gleysol*

Suelo blando de texturas variadas (i) de propiedades gléyicas que reagrupan toda una serie de normas concernientes a la dinámica de confinamiento hídrico del medio y de características que hacen repercutir las consecuencias de estas situaciones, en los medios minerales y orgánicos (decoloración, manchas, oxido reducción de Fe, de Mn, (ii) de propiedades flúvicas, de textura áspera por la llegada regular de sedimentos que hacen difícil la adquisición de todas las otras diferenciaciones pedológicas.

Subdivisiones que se dan sobre la naturaleza del horizonte húmico, la saturación en bases, y las dinámicas respectivas del calcio y del azufre. Corresponden a los suelos hidromorfos minerales de gley (fase reductora dominante) o pseudo gleys (posibles reoxidaciones estacionales), por el contrario, suelos hidromorfos orgánicos turbosos de la CPCS francesa son los HISTOSOLES de la FAO-UNESCO.

f) *Luvisol*

Suelo blando de acumulación de arcillas aluviales en un horizonte B arcilloso que presenta una acumulación de arcilla con respecto al horizonte A (+ 3 a + 8%), pero no hay horizonte eluviado E, revestimientos arcillosos sobre conglomerados, fisuras; sin embargo la CIC de las arcillas > 24 cmol.(+).kg⁻¹, y el grado de saturación en bases (S/T) > 50% .

Estos suelos lavados en coloides arcillosos pero poco lixiviados en bases, tienen un complejo de intercambio poco insaturado, se les distingue dependiendo de las características secundarias que son : (i) una liberación de óxidos de hierro que dan una coloración marrón vivo a rojo (L. crómicos incluso L. férrico); (ii) una ligera hidromorfia en algún nivel entre 0 y 100 cm (L. gléyico); (iii) el desarrollo de características vérticas (L. vérticos).

g) *Nitisol*

Suelo blando igualmente caracterizado por una acumulación de arcilla en un horizonte B árgico, pero contrariamente a los Luvisoles y a los Acrisoles, esta acumulación es progresiva. Las propiedades níticas están ligadas a una estructura fragmentaria bien desarrollada entre la superficie y 125 cm, caras de conglomerados lustrosas que no son recubrimientos de arcillas aluviales sino más bien figuras de presión. Contienen hierro que se puede extraer fácilmente por complexometría y menos de 30% de arcilla no activa con una CIC < 24 cmol(+).kg⁻¹ arcilla.

En América Central son dystricos en rocas ácidas cuya alteración produce mucha arcilla; son a menudo los esquistos del complejo de base, o son éutricos en las rocas básicas.

h) Planosol

Suelo de horizonte D álbico claro, limoso a arenoso, eluviado en arcilla y que puede presentar características de hidromorfia (jaspeados, manchas, concreciones de sesquióxidos), este horizonte E álbico reposa con una transición brutal, a menos de 125 cm, sobre un horizonte poco permeable arcilloso BT a veces muy coherente (duripan) o nátrico.

Son suelos lavados de horizonte eluviado blanco, esto lo opone a los Luvisoles con contenidos de arcilla que son al menos el doble en el horizonte arcilloso que en el horizonte eluviado álbico. Este arrastre y acumulación de arcillas pueden ser simplemente "mecánicos", pero también puede tratarse del resultado de un proceso químico de dispersión de las arcillas en un horizonte alcalinizado, seguido de una acumulación en la profundidad (horizonte nátrico); el proceso de podsolización no puede por el contrario ser asimilado a una planosolización.

i) Vertisol

Suelo blando que contiene más de 30% de arcilla en al menos 50 cm, anchas grietas desde la superficie que tienen todavía 1 cm de ancho hacia + 50 cm, superficies de deslizamiento estriadas (slickenside), conglomerados cúbicos o esfenoïdales al menos entre -20 y -50 cm.

Son suelos de arcillas saturadas formadas por acumulación absoluta de sílice en un medio neutro a básico, condición que se realiza en las depresiones de las rocas eruptivas o sedimentarias básicas que se alteran suficientemente para liberar este sílice (clima tropical semi húmedo). Son pélicas (oscura con altos grados de MO) o crómicas (marrón vivo, menos húmicas, con una discreta liberación de hierro).

CAPÍTULO 4

HACIA UN MANEJO SOSTENIBLE DE LA MATERIA ORGÁNICA Y DE LA FERTILIDAD BIOLÓGICA DE LOS SUELOS CAFETALEROS

*Philippe Vaast**, CIRAD-CP/CATIE
Didier Snoeck, CIRAD-CP

1 *Introducción*

Durante el Simposio sobre el Cultivo de Café en América Latina, efectuado en Costa Rica (octubre, 1997), se recalcó la necesidad de estudiar, proponer e implementar estrategias de manejo que promuevan un cultivo de café más duradero y sostenible.

La conservación de la fertilidad del suelo, particularmente de la Materia Orgánica del Suelo (MOS), es un componente importante para el desarrollo de un cultivo de café más sostenible, ya que éste depende considerablemente, para su nutrición mineral, de raíces absorbentes que se concentran en el horizonte superior del suelo, rico en materia orgánica (Carvajal, 1984).

El tema de la conservación de la MOS es de particular importancia para las plantaciones de café en América Central pues, por lo general, éstas se encuentran en áreas montañosas, donde la superficie del suelo es propensa a la erosión, especialmente en el sistema de monocultivo intensivo de café. Como lo explican Fernández y Muschler en el capítulo 2 de

* CATIE 7170, Apdo. 3, Turrialba, Costa Rica. Fax: (506) 556-1576. Correo electrónico: pvaast@catie.ac.cr

este libro, desde inicios de la década de los años 50, los agrosistemas intensivos de café, sin o con poca sombra, tienden a reemplazar en forma progresiva a los agrosistemas de café más estables, cultivados con árboles de sombra. De acuerdo con datos suministrados por la FAO, durante los últimos 30 años, cerca del 40% de las plantaciones de café con sombra, en los países de América Latina, han cambiado este sistema por el de monocultivo intensivo, con porcentajes de conversión que van desde un 70% en Colombia hasta un 40% en Costa Rica y únicamente un 8% en El Salvador.

Desde hace mucho tiempo se reconoce que los agrosistemas tradicionales de café basados en la diversidad vegetal (estratos múltiples compuestos por diferentes árboles maderables, leguminosas arbóreas y frutales con café en el sotobosque) son, por lo general, agrosistemas menos productivos, pero ciertamente más estables y sostenibles que el monocultivo de café sin sombra. Esto se debe a los efectos benéficos de los árboles de sombra para conservar la MOS y reciclar nutrientes a través de la hojarasca y forraje del subsuelo, mediante sus profundos sistemas de raíces, así como para limitar el estrés ambiental y los desbalances nutricionales del café y finalmente para regular el crecimiento y la productividad del cultivo (Beer *et al.*, 1998). Además, es más probable que los agrosistemas tradicionales, y no el cultivo intensivo del café, puedan mantener una diversidad y un balanceo de la microflora y fauna, las cuales ayudan a mantener un buen estado sanitario del café.

En contraste con los agrosistemas tradicionales, las plantaciones de café sin sombra y con alta densidad de cultivares de porte bajo, se caracterizan usualmente por una mala protección del suelo en épocas de nuevas siembras y al momento de la poda, baja restitución de la materia orgánica, bajo reciclaje de nutrientes y alta exportación de los mismos, lo cual lleva a los agricultores a depender considerablemente de los fertilizantes sintéticos e insumos químicos (capítulo 3 de este libro). Aún más, el uso rutinario de herbicidas para el control de malezas da como resultado un suelo descubierta que exagera la erosión superficial, la pérdida de la MOS y la lixiviación de nutrientes hacia capas más profundas del suelo. En el mediano a largo plazo, la situación anterior da como resultado un medio poco favorable para el crecimiento de las raíces debido a la compactación del suelo que impide su penetración, un bajo volumen de suelo explorable por las raíces, pocas reservas de nutrientes y el desarrollo de condiciones adversas (acidez del suelo y toxicidad de aluminio). Aunque

para tener evidencia conclusiva se necesite más investigación, parece que el desarrollo de estas condiciones edáficas desfavorables incrementa la incidencia de plagas (nematodos, cochinilla harinosa del café) y enfermedades (*Rosellina*, *Fusarium*) que atacan el sistema radical del café.

De acuerdo con Beer *et al.* (1998), las consecuencias ambientales negativas y la fragilidad económica del monocultivo intensivo del café, cuando los precios son bajos, han hecho dudar sobre su pertinencia socioeconómica y han reenfocado la atención hacia el papel benéfico de los árboles de sombra, y hacia sistemas basados en la asociación permanente de una leguminosa de cobertura fijadora del nitrógeno (N) atmosférico. Este "replanteamiento" debería ir de la mano con la definición y el desarrollo de estrategias de manejo que estimulen las actividades microbianas y los procesos biológicos del suelo en los agrosistemas de café para mejorar el ciclaje y la disponibilidad de nutrimentos, reducir su pérdida, disminuir la degradación del medio ambiente e incrementar su rentabilidad para los productores.

El propósito de esta presentación es analizar el papel de la MOS en la conservación de la fertilidad de los suelos cafetaleros y presentar estrategias para conservar o mejorar su contenido. Además, servirá para explicar cómo el manejo biológico de los suelos de cafetaleros puede ser mejorado, a la luz de las experiencias en progreso, en este cultivo o en otros cultivos, las cuales podrían transferirse al cultivo de café.

2 El Papel de la Materia Orgánica del Suelo

De acuerdo con la definición general de Schnitzer (1982), la MOS está compuesta por residuos de plantas y animales en varias etapas de descomposición, sustancias químicas y biológicamente sintetizadas por el desdoblamiento de estos residuos, así como por microorganismos vivos del suelo (especialmente bacterias, hongos y actinomicetos), por pequeños animales (gusanos de tierra e insectos) y por la descomposición de sus restos.

La MOS es un elemento clave para mitigar numerosos problemas ambientales que enfrentan la productividad de los cultivos tropicales (Woomer *et al.*, 1994) pues ésta afecta en forma substancial, la fertilidad biológica, química y física del suelo, como se destaca más adelante.

2.1 *Propiedades físicas*

La MOS desempeña un papel importante en la estructura, aeración y capacidad del suelo para sostener el agua, y ofrece un medio favorable para el crecimiento de raíces y para la captación de nutrimentos.

El humus, la fracción más estable de la MOS, forma asociaciones de enlaces con partículas de arcilla, las cuales incrementan la agregación del suelo y la formación de microporos. Una estructura mejorada de suelo da como resultado una mayor capacidad de infiltración y de retención del agua, limita la erosión superficial del suelo y previene el desecamiento y contracción del mismo.

La presencia de la MOS favorece la actividad de la macrofauna del suelo (lombrices, termitas, artrópodos). Durante su migración por el suelo, estos macroorganismos crean macroporos, los cuales contribuyen sustancialmente a la porosidad del suelo y a su aeración. Mediante su excreción, éstos organismos también desempeñan un papel importante al mezclar el suelo y llevar partículas finas de los horizontes más bajos hacia la superficie (Woomer *et al.*, 1994).

En los monocultivos intensivos de café, el uso rutinario de herbicidas para controlar malezas trae como consecuencia suelos descubiertos con una rápida erosión de su superficie (Wrigley, 1988). Cuando el humus se pierde, el suelo se vuelve duro y compacto. Esto hace que disminuya la aeración y que aparezcan condiciones anaeróbicas temporales en los suelos de café durante la estación lluviosa. Estas condiciones reducen grandemente la tasa de absorción de nutrimentos por parte de las raíces de café, en especial de N, el cual puede disminuir entre un 30 y un 50% (Vaast *et al.*, 1998).

2.2 *Propiedades químicas*

Los andisoles, inceptisoles y oxisoles predominan entre los suelos dedicados al cultivo del café. Debido a su alto contenido de óxidos de hierro y de aluminio, su fracción de arcilla tiene una muy baja capacidad de intercambio de cationes (CIC). En consecuencia, la MOS puede corresponder hasta un 80% del CIC en los horizontes superiores de los suelos de café, donde se concentran la mayor cantidad de raíces absorbentes. Por lo tanto, las prácticas agronómicas que previenen la pérdida de la MOS y, en muchos casos, aún incrementan su contenido, deben conver-

tirse en una prioridad para conservar y mejorar la retención de cationes tales como el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg), esenciales para el crecimiento y el rendimiento del café (Carvajal, 1984; Snoeck y Jadin, 1990; capítulo 3 en este libro).

La MOS también mejora la capacidad del suelo para resistir a los cambios de pH. Lo anterior es particularmente importante en agrosistemas de café intensivos donde las grandes adiciones de N provocan una fuerte acidificación del suelo (Wrigley, 1988). En efecto, en un período de 10 a 15 años, la alta fertilización con N puede disminuir el pH en el área fertilizada de 6.0-6.5 a menos de 4.0-4.5 (Vaast, 1995). El incremento de la acidez del suelo puede producir toxicidad de aluminio (Al), la cual es perjudicial para el crecimiento de las raíces y para la absorción de nutrientes (Pavan, 1983), e incrementa la susceptibilidad de la raíz a los nematodos fitoparásitos y a las enfermedades (Lidell, 1997). La acidez del suelo también reduce la actividad microbiana, provocando una disminución en la mineralización de la materia orgánica y por ende una disponibilidad más baja de nutrientes para las raíces (Robson y Abbott, 1988).

Mediante la quelación del aluminio y del manganeso, la MOS disminuye las toxicidades de estos cationes en los suelos ácidos. La MOS también reduce la toxicidad de cobre que se acumula en los suelos de café, como consecuencia de las aplicaciones a largo plazo de fungicidas a base de cobre (D'Ambrosio *et al.*, 1993). Finalmente, la MOS es capaz de absorber los residuos tóxicos de los químicos, favorecer su descomposición mediante un aumento de las actividades microbianas y en consecuencia, limitar la contaminación de las aguas subterráneas.

2.3 Propiedades biológicas

En la MOS se encuentra la mayor cantidad de N, así como cantidades considerables de fósforo y de micro nutrientes (boro, zinc, etc.). La mineralización de la materia orgánica como residuos de cultivos, hojarasca, "mulch", residuos de podas de café y de árboles asociados, estiércol y "compost", puede contribuir en gran parte a la demanda de nutrientes del café.

La asociación permanente de una leguminosa fijadora del N atmosférico, ya sea como "mulch" vivo o como árboles de sombra sembrados entre las hileras de café, puede disminuir sustancialmente la necesidad de fertilizaciones nitrogenadas, siempre y cuando las condiciones del suelo sean adecuadas y que se hayan implementado las prácticas agrícolas apropiadas, como se explica más adelante en este capítulo.

La MOS también promueve la actividad de microorganismos que no están directamente involucrados en la descomposición de la materia orgánica, pero que, sin embargo, son benéficos para la nutrición del café y para el estado fitosanitario de las raíces. Entre los microorganismos más importantes se encuentran los hongos micorrícicos que colonizan las raíces para desarrollar una asociación simbiótica con la planta hospedera y los microorganismos antagonistas que tienen efectos supresivos sobre plagas y enfermedades que atacan las raíces.

3 Prácticas Agronómicas que Contribuyen a la Conservación de la MOS

En pendientes moderadas a muy inclinadas, la siembra de café en contorno y en terrazas es necesaria, ya que son medidas prácticas que limitan la erosión de la superficie del suelo y la pérdida de la MOS (Carvajal, 1984; Wrigley, 1988). Sin embargo, estas prácticas por sí solas son insuficientes para prevenir completamente estos procesos, especialmente en suelos descubiertos.

Se han propuesto diversas prácticas agronómicas para mejorar el manejo de la MOS en el cultivo del café. Entre las más importantes están las adiciones de broza de café, "compost", estiércol, residuos de cultivos, "mulch" elaborado con residuos de pastos, hojarasca y residuos de podas de los cultivos o árboles asociados.

La adición de broza de café como medio para restituir la materia orgánica a los suelos cafetaleros, ha sido recomendada durante mucho tiempo por los agrónomos (Carvajal, 1984; Wrigley, 1988). La broza de café cruda y el compost elaborado con broza de café, pueden contribuir a mejorar el contenido y las propiedades químicas de los suelos cafetaleros (cuadro 4-1). El "compost" es una fuente de materia orgánica preferible a la broza de café sin descomponer, pues con él se evita la introducción de plagas y enfermedades en el campo y se limita la insuficiencia de N, debido a la alta demanda de este elemento durante la descomposición de la broza.

Estas prácticas casi nunca se implementan en los países productores de café, debido, en parte, a los altos costos de transporte de la broza o del compost de café desde los beneficios hasta las plantaciones. La implementación de normas más estrictas sobre la eliminación de residuos y su efecto sobre la contaminación ambiental, quizás podría obligar a la industria

Cuadro 4-1. Evolución de algunas propiedades químicas de los horizontes superiores del suelo (de 0 a 30 cm) en una plantación de café después de cuatro años de proteger el suelo con pastos (*Eragrostis* o *Pennisetum*), hojas de banano, broza de café y residuos de podas de una leguminosa de cobertura asociada (*Leucaena* K28) (Snoeck *et al.*, 1994).

Materia Orgánica	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Mg/K	Saturación (%)
	(-----cmole kg ⁻¹ -----)				
Suelo descubierto	1.07	1.24	0.19	6.5	20
<i>Eragrostis</i> 1	1.80	1.34	0.38	3.5	28
<i>Pennisetum</i>	2.49	1.70	1.26	1.3	43
Hojas de banano	3.36	2.09	0.93	2.2	51
Broza de café	3.19	1.79	1.44	1.2	51
<i>Leucaena</i> K28	1.50	1.24	1.93	0.6	37

del café a reciclar una porción mayor de los residuos de la broza en un futuro cercano (ver capítulo 5). De acuerdo con Enríquez y López-Rubio (1997), en Costa Rica se podría producir aproximadamente 200 000 toneladas de "compost" de broza de café por año, las cuales podrían suplementar potencialmente entre el tercio y la mitad de la superficie cultivada de café a un promedio de 5 t/ha.

El abono, especialmente de estiércol de gallina o de boñiga de ganado, es también una buena fuente de materia orgánica para el suelo cafetalero. Sin embargo, su disponibilidad es bastante limitada en los países productores de este cultivo, por lo que su empleo se reserva generalmente para los viveros de café o para llenar los hoyos donde se van a trasplantar las plántulas en el campo. (Wrigley, 1988).

Se puede suministrar materia orgánica al suelo cubriendo la plantación de café con pastos de áreas en barbecho cercanas o mediante la adición de residuos de cultivos que se encuentren en campos aledaños como son las plantaciones de banano. Estas prácticas de aporte de materia orgánica se emplean tradicionalmente en los países productores de café de Africa Central y del Este (Wrigley, 1988) donde ayudan a limitar en

gran medida la erosión del suelo y a mejorar sus propiedades químicas (cuadro 4-1). Sin embargo, estas prácticas demandan mucho trabajo y después de algunos años disminuyen la fertilidad del suelo en las áreas en barbecho y en los campos cultivados (Snoeck *et al.*, 1994). Más aún, se requiere de casi una hectárea de tierra para producir suficiente "mulch" para una hectárea de café, lo cual es casi imposible en regiones con una alta densidad de población y de presión por la tierra.

La práctica agronómica más recomendada para mejorar la MOS es sembrar entre las hileras de café especies leguminosas que sirvan como "mulch" vivo (Bouharmont, 1979; Snoeck *et al.*, 1994), o leguminosas arbóreas de sombra (Alpizar *et al.*, 1985; Roskoski, 1981). Las plantas de café se pueden combinar con leguminosas anuales tales como *Mucuna*, *Pueraria*, o *Stylosanthes*; con leguminosas plurianuales como *Desmodium*, *Leucaena*, o *Flemingia*; o con leguminosas arbóreas para sombra como *Albizia*, *Erythrina*, *Gliricidia*, o *Inga*. Mediante la hojarasca y las podas periódicas, se pueden producir de 2 a 20 toneladas de materia seca por hectárea por año, dependiendo de la especie y de las condiciones climáticas (Alpizar, 1988; Snoeck *et al.*, 1994). Además de mejorar el contenido de MOS, esta práctica tiene la ventaja de reducir la competencia de las malezas y de contribuir a reciclar el N en los agrosistemas de café, mediante la fijación biológica de N (FBN).

Los efectos benéficos de estas leguminosas asociadas no se limitan únicamente al N. Al proteger el suelo contra la erosión, también reducen substancialmente la lixiviación y la escorrentía de los nutrimentos. A través de sus sistemas de raíces profundas, los árboles o los cultivos de cobertura pueden acarrear los nutrimentos de las capas de suelo más profundas, que son inaccesibles a las raíces poco profundas del café. En Burundi, fue posible registrar, en un período de 4 años, importantes incrementos en términos de Ca, y especialmente K intercambiables, en plantaciones de café con cultivos de cobertura (cuadro 4-1). En los ensayos de café establecidos en Costa Rica, Fassbender (1993) registró una alta transferencia de P, K, Ca y Mg en el suelo, debido a la presencia de leguminosas arbóreas de sombra (*Erythrina*).

La selección de árboles de sombra o de cultivos de cobertura debe estar determinada por sus respectivas ventajas y condiciones ambientales.

Comparado con los árboles de sombra, los cultivos de cobertura tienen la enorme ventaja de competir mucho menos con el café por la luz. Por otro lado, tienen la gran desventaja de competir por el agua, lo cual impide su empleo en áreas con poca precipitación anual o con estaciones

secas muy prolongadas (Bouharmont, 1979). Por lo tanto, los cultivos de cobertura se recomiendan únicamente para áreas que presentan condiciones favorables de clima y de suelo, donde la sombra constituye el principal elemento limitante para el rendimiento del café. Aunque se necesitaría adicionales experimentos de validación en campo, los cultivos de cobertura también podrían ser más efectivos para proteger el suelo contra la erosión y la escorrentía que las leguminosas arbóreas de sombra, lo cual también favorecería su utilización en pendientes inclinadas. Aún cuando los cultivos de cobertura se recomiendan con mayor frecuencia para proteger los suelos cafetaleros (ver capítulo 3), éstos no son muy utilizados en los países productores de café de América Central. De esta forma, antes de transferir este sistema a los agricultores, es necesario realizar investigación en campo para evaluar la adaptación de las especies leguminosas a las condiciones climáticas y de suelos locales, así como para ajustar las densidades de café, particularmente las distancias entre hileras que permitan el desarrollo adecuado del cultivo leguminoso de cobertura.

Las leguminosas arbóreas de sombra se deben recomendar para condiciones menos favorables, con el propósito de amortiguar los efectos ambientales perjudiciales como son temperaturas altas o bajas, viento, estación seca prolongada y poca disponibilidad de nutrimentos (Beer *et al.*, 1998). Al prevenir el exceso de calor por la luz directa del sol, los árboles de sombra pueden mantener la temperatura de la hoja por debajo de su umbral de sensibilidad (20-25°C) y así obtener un máximo de fotosíntesis (Cannell, 1985). Los árboles de sombra también mantienen las temperaturas del suelo en un rango óptimo (15-25°C) para que las raíces del café puedan absorber eficazmente los nutrimentos (Vaast *et al.*, 1998). Al reducir la carga de frutos y la formación de nudos, los árboles de sombra reducen la fructificación alterna, evitan la sobre fructificación y la muerte de la planta y prolongan la vida productiva de la plantación (Cannell, 1985). Como lo mencionan Beer *et al.* (1998), algunas leguminosas arbóreas (*Inga*, *Gliricidia* y *Mimosa*) pueden suministrar cantidades apreciables (de 8 a 35 m³.ha⁻¹.año⁻¹) de leña. Este aspecto puede ayudar a diversificar el ingreso de los agricultores y a liberar la presión sobre los bosques. Estudios de campo efectuados recientemente en Guatemala confirmaron que los árboles de sombra (*Inga*) incrementan el tamaño del grano de café y además demostraron que pueden mejorar la calidad de taza, al retrasar la maduración de los frutos (Guyot *et al.*, 1996).

4 *Mejoramiento de la Fertilidad Biológica del Suelo*

La implementación de técnicas de manejo de la MOS contribuirá a mejorar las propiedades del suelo y a proporcionar condiciones favorables para el establecimiento de una actividad biológica estable y diversificada de los suelos cafetaleros.

No obstante, se debe desarrollar prácticas agronómicas que ayuden a incrementar la eficiencia de los procesos biológicos, como son la FBN y la simbiosis micorrízica, para limitar el empleo de fertilizantes sintéticos.

Las instituciones dedicadas a la investigación también deben estudiar las prácticas de manejo que favorezcan la diversidad microbiana del suelo, particularmente el desarrollo y persistencia de microorganismos antagonistas introducidos o nativos que suministren alternativas no químicas para el control de plagas presentes en el suelo y enfermedades del café. Además de limitar la contaminación ambiental, este enfoque ayudaría a los productores a reducir el uso de agroquímicos y a incrementar sus ganancias económicas.

4.1 *Fijación biológica y ciclo del nitrógeno*

Además de la MOS, el crecimiento y la productividad del café dependen de la disponibilidad de N (Carvajal, 1984). Los fertilizantes nitrogenados se aplican en grandes cantidades ($100-500 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) en los agrosistemas de café intensivos (Wrigley, 1988) para compensar la exportación por la producción ($50-70 \text{ kg N}$ por tonelada de café oro), la poda, el crecimiento y el mantenimiento de la plantación. Sin embargo, estas prácticas de fertilización no siempre son económicamente viables, además a menudo producen acidificación del suelo y contaminación de las aguas subterráneas en nitratos, como lo muestran Reynold-Vargas *et al.* (1994), en el Valle Central de Costa Rica.

Desde hace mucho tiempo se ha reconocido la necesidad de desarrollar prácticas agronómicas alternativas para mejorar el manejo del N y disminuir su pérdida, lo cual a su vez, incrementa las ganancias económicas. Durante los últimos 25 años se han logrado algunos avances en este campo, tales como fraccionar los aportes de N en varias aplicaciones (de 3 a 5 por año), dependiendo de los requerimientos de la planta (Carvajal, 1984).

Estudios de campo más recientes sobre mineralización y pérdidas de N han permitido mejorar substancialmente nuestro conocimiento sobre el

ciclo y el balance de N en agrosistemas de café en América Central (Babbar y Zak, 1994 y 1995; Reynold-Vargas *et al.*, 1994). Estos estudios han demostrado que cada año se mineralizan grandes cantidades de N ($100-150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) de las cuales una parte importante se pierde por lixiviación ($10-50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). Además de lo anterior, estas investigaciones han mostrado el papel importante que juegan los árboles de sombra (*Erythrina*) para incrementar la mineralización de N y reducir la lixiviación del nitrato. Snoeck (1995) también encontró que al emplear *Leucaena* o *Desmodium* como cultivos de cobertura, la mineralización de N aumentó y el N orgánico que se mantuvo en los primeros 30 cm de los suelos de café se incrementó significativamente (figura 4-1).

Para reducir aún más la cantidad de fertilizantes nitrogenados que se aplican a las plantaciones de café, es esencial mejorar la eficiencia de la simbiosis rhizobial. En efecto, se han registrado grandes variaciones en el campo con relación a la materia seca producida por las leguminosas y a los ingresos de N vía FBN.

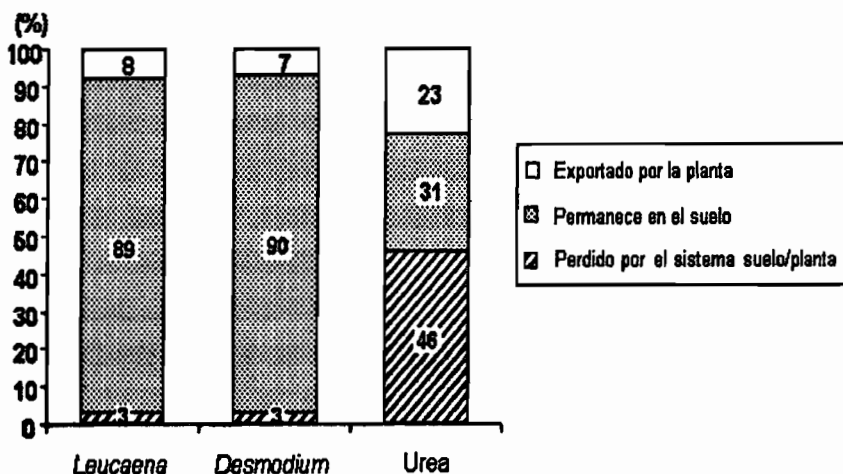


Figura 4-1. Balance de N en una plantación de café después de un año de aplicar N en forma de urea o residuos de podas como "mulch" vivo (*Leucaena* o *Desmodium*) (Snoeck, 1995).

De acuerdo con varios estudios efectuados en plantaciones de café en México y en América Central (Alpizar, 1985; Alpizar *et al.*, 1988; Beer *et al.*, 1998; Roskoski, 1981), la cantidad de materia seca producida por las leguminosas de sombra como *Inga* o *Erythrina* varió entre 2 y 14 toneladas $\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, lo cual corresponde a una restitución de entre 60 y 350 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ después de la descomposición de la hojarasca y de los residuos de las podas. Sin embargo, la contribución mediante la FBN de las leguminosas arbóreas de sombra a los ingresos de N se ha estimado aproximadamente entre 30 y 60 $\text{kg}\cdot\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Igualmente, la cantidad de N derivada de la descomposición de la materia seca de las leguminosas de cobertura puede oscilar entre 50 y 200 $\text{kg de N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y su contribución por la FBN entre 10 y 90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

Estas importantes variaciones en cuanto a materia seca y a la FBN pueden ser explicadas por la gran variabilidad que presenta el crecimiento de las leguminosas, su formación de nódulos y actividad de FBN, las cuales se deben a la fertilidad del suelo, a las especies de leguminosas empleadas, a las cepas de *Rhizobium* y a las prácticas agronómicas. En consecuencia, para obtener una asociación café - leguminosa permanente, sostenible y efectiva, es necesario seleccionar la especie de leguminosa apropiada, tener una FBN óptima (cepa de *Rhizobium* y fertilidad del suelo) y contar con prácticas agronómicas apropiadas.

La selección de la especie de leguminosa la determina su adaptación a las condiciones locales climáticas y de suelos y su aptitud para producir grandes cantidades de la materia orgánica (MO), sin mostrar competencia excesiva con el café por el agua y/o por los nutrientes del suelo. Por ejemplo, Jiménez Avila (1982) al evaluar varias especies de *Inga* en plantaciones de café en México, encontró que *I. leptoloba* fue la que compitió menos por el agua. En Burundi, Snoeck *et al.* (1994) determinaron que es posible encontrar grandes diferencias entre la MO producida por *Desmodium intortum* (14 toneladas $\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), por una *Leucaena* seleccionada (*L. leucocephala* K28: 7 toneladas $\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) (ver foto 4-1) y por una *Leucaena* no seleccionada (2 toneladas $\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$).

La cantidad de N atmosférico que fijan los nódulos de la planta leguminosa hospedera puede mejorar mediante la selección apropiada de la cepa de *Rhizobium*. Así, la cepa debe ser altamente compatible con la leguminosa hospedera. No obstante lo anterior, la FBN aún puede oscilar entre muy baja y muy alta, dependiendo de las condiciones ambientales. Por lo general, una FBN baja resulta de una pobre nodulación en presencia de un suelo ácido altamente desgastado con una baja CIC. Con frecuencia, la actividad rhizobial es más susceptible que la misma leguminosa



Foto 4-1. Asociación de *Coffea arabica* con *Leucaena leucocephala* en Burundi.

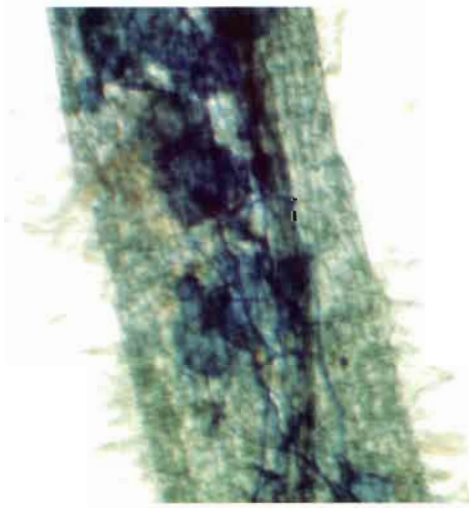


Foto 4-2. Hongo micorrícico simbióticamente asociado con raíz de café.

hospedera a la acidez, toxicidad y deficiencias del suelo. En suelos altamente ácidos ($\text{pH} < 5$) en Burundi, las cepas locales o introducidas de *Rhizobium* no pudieron desarrollarse y colonizar raíces, aún cuando las leguminosas presentaban buen crecimiento, lo que resultó inevitablemente en competencia por el N del suelo entre el café y las leguminosas (Snoeck, 1995). Para corregir esta situación, se requiere de una adecuada fertilización del suelo. Los experimentos de campo han demostrado que las aplicaciones correctivas de fertilizantes fosforados y de cal, cuyo propósito es neutralizar la toxicidad del Al e incrementar el Ca intercambiable, resultaron en un importante incremento de la biomasa nodular seca (de 5 a 30 g/planta), en tanto que la cantidad de N fijado aumentó 10 veces (de 15 g a 150 g de N/planta).

Los cultivos de especies leguminosas pueden compartir el N fijado con el café asociado, mediante los contactos raíz-raíz y los exudados de la raíz, la descomposición de los nódulos y la mineralización de los residuos de las podas, empleadas como "mulch". Nygren y Ramírez (1995) encontraron que los residuos de las podas de *Erythrina Peopigiana*, cuyos árboles se podan drásticamente dos veces al año, aportan el 67% del suministro de N al suelo, en tanto que el 24% lo suministra la hojarasca del follaje entre podas y el 9% la senectud y descomposición de los nódulos. Al utilizar la técnica de abundancia ^{15}N en una plantación de café-*Leucaena* en Burundi, Snoeck (1995) encontró que el café beneficia aproximadamente de un 25% del N atmosférico fijado por los árboles de *Leucaena* (15-18% de N por podas y 7-8% mediante la transferencia directa bajo el suelo), los cuales son capaces de fijar el 50% de sus propios requerimientos de N (figura 4-2).

Los cultivos de especies leguminosas deben ser podados para prevenir que se extiendan mucho y que compitan por la luz. Sin embargo, las podas muy frecuentes reducen en gran medida la FBN. Snoeck (1995) observó que en un período de dos semanas, las podas reducen en casi la mitad la biomasa nodular, lo que hace que la actividad de fijación de N se detenga casi por completo después de una poda severa de plantas de *Leucaena* (20 cm sobre la superficie del suelo). Más aún, este estudio mostró que el tiempo que se requiere para que la FBN regrese a su estado normal es de casi 3 meses (figura 4-3). Nygren y Ramírez (1995) encontraron resultados similares al trabajar con *E. peopigiana* y café en Costa Rica.

En consecuencia, podas muy frecuentes o severas dan como resultado que la contribución de la leguminosa a los ingresos de N en el agrosistema de café sea baja, y que, por lo tanto, exista competencia entre las dos plantas por el N del suelo durante parte del año. Consecuentemente, es necesario desarrollar técnicas de poda para mantener una FBN continua

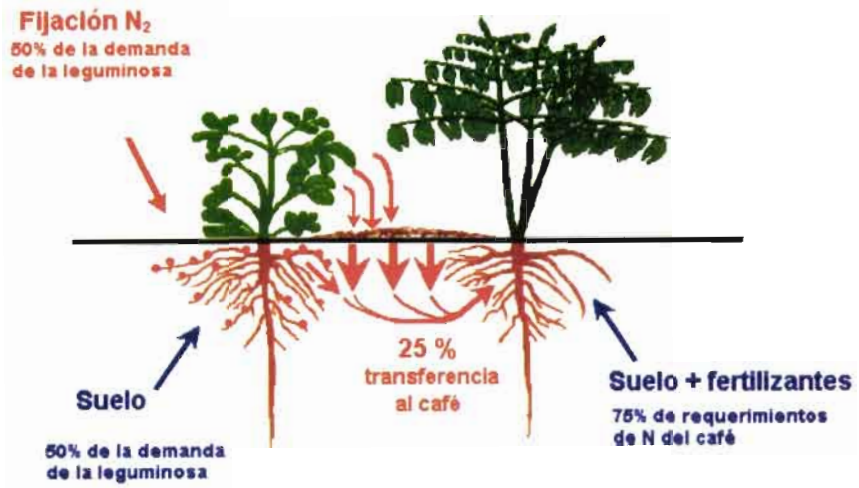


Figura 4-2. Representación esquemática de los ingresos de N mediante una asociación de cultivo de cobertura leguminoso (*Leucaena*), la fijación biológica de N y la transferencia de N al café, bajo condiciones óptimas (Snoeck, 1995).

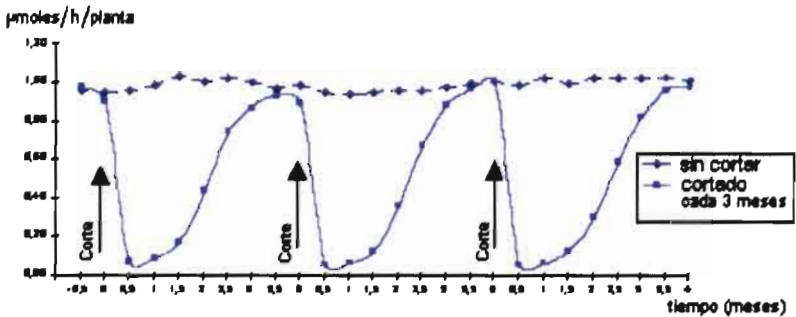


Figura 4-3. Evolución de la fijación biológica de N por los nódulos de plantas de *Leucaena* empleada como "mulch" vivo, cortadas a 20 cm del suelo o sin cortar (Snoeck, 1995).

y eficiente. En particular, se deben evaluar técnicas de poda menos traumáticas que reduzcan la necesidad que experimenta la leguminosa de utilizar sus reservas de carbohidratos para producir nuevos retoños (dejar una “chimenea”, poda más alta...). Además de la frecuencia, la época en la cual se efectúa la poda es un aspecto del manejo importante que debe ser considerado con respecto a la tasa de mineralización de las podas de los cultivos leguminosos y a la demanda de N del café.

La importancia de la asociación leguminosa-café ha sido reconocida por mucho tiempo y su práctica se ha recomendado en los países productores de café de América Central (Alpízar *et al.*, 1985). La presencia de un cultivo leguminoso asociado, ya sea como “mulch” vivo o como árboles de sombra, conserva el N (así como la MOS y otros nutrimentos) en el agrosistema. Sin embargo, estudios recientes han mostrado que el café se beneficia de la FBN únicamente bajo condiciones de suelo adecuadas y de un manejo apropiado de las podas. Estas investigaciones también han indicado que es imperativo mejorar la contribución del cultivo leguminoso asociado mediante la FBN para maximizar los ingresos de N al agrosistema de café.

4.2 Efectos de las especies leguminosas sobre las plagas y enfermedades del café

Las plantas leguminosas asociadas (cobertura y árboles de sombra) pueden incrementar o disminuir la tolerancia del café a las plagas y enfermedades.

Al reducir las presiones ambientales (calor, agua, nutrimentos), mejorar el balance nutricional y regular la producción de plantas de café, los árboles de sombra y los cultivos de cobertura pueden incrementar el vigor del café y, por lo tanto, disminuir su susceptibilidad a las plagas, tales como nematodos (capítulo 10 en este libro) y a las enfermedades como la roya de la hoja del café (Avelino *et al.*, 1997).

Por otro lado, una sombra muy fuerte sobre el café puede incrementar la incidencia de la roya de la hoja (*Hemileia vastatrix*) (Avelino *et al.*, 1997) y de otras enfermedades fungosas tales como el ojo de gallo (*Mycena citricolor*), al ofrecer condiciones ambientales favorable para su desarrollo y diseminación (Wrigley, 1988). Las pérdidas en la producción ocasionadas por la broca del café también son mayores bajo sombra excesiva (Wrigley, 1988).

Los árboles de sombra y los cultivos de cobertura pueden abrigar en su follaje agentes de control biológico o suministrar condiciones ambientales favorable para su desarrollo y permanencia. Sin embargo, los cultivos leguminosos asociados también pueden ser hospederos alternos de plagas y enfermedades del café y por ello pueden aumentar la presión del parasitismo. En la mayoría de los casos, es muy difícil confirmar o contradecir, mediante investigaciones minuciosas, las observaciones puntuales efectuadas por agricultores o investigadores.

Mediante el mejoramiento de la MOS, los cultivos leguminosos asociados pueden favorecer el desarrollo en el suelo de numerosos microorganismos antagonistas de los patógenos fungosos y de las plagas que afectan las raíces de las plantas (Rodríguez-Kabana y Kokalis-Burelle, 1997). Como se explica más adelante, estos microorganismos pueden llegar a ser una herramienta importante para reducir la incidencia de patógenos en el suelo, los cuales parecen aumentar en las plantaciones de café en América Central.

Cada vez existe mayor interés en el empleo de cultivos asociados, especialmente cultivos de cobertura para controlar los nematodos fitoparásitos. Muchas plantas leguminosas empleadas como cultivos de cobertura en plantaciones de café, tales como *Pueraria*, *Crotalaria* o *Desmodium*, parecen ser efectivas para reducir las poblaciones de nematodos, en especial de los nematodos de agallas (*Meloidogyne* spp.), los cuales son muy perjudiciales y se encuentran diseminados en las áreas productoras de café de América Central (Bertrand *et al.*, 1995; capítulo 10 de este libro). Estas plantas pueden afectar el ciclo de vida del nematodo: 1) al actuar como un cultivo trampa que atrae a los nematodos para que penetren sus raíces, las cuales impiden su desarrollo y reproducción; 2) mediante la producción de exudados de raíz con efecto nematicida; o, 3) mediante la producción de compuestos foliares que tienen efectos nematicidas una vez que se incorporan al suelo. Hasta ahora, la mayoría de los trabajos de investigación se han realizado en cultivos anuales (Rodríguez-Kabana y Kokalis-Burelle, 1997) y muy pocos en café (Herrera, 1997). Es absolutamente necesario realizar más investigaciones sobre los efectos a largo plazo de las leguminosas sobre los nematodos que atacan al café.

Parece que los efectos de las leguminosas asociadas pueden variar mucho, dependiendo de las especies involucradas y de su manejo (grado de sombra), la naturaleza de la plaga o de la enfermedad y las condiciones ambientales. No obstante, no hay duda de que el papel de los cultivos asociados (leguminosos y no leguminosos) sobre la tolerancia del café merece mayor atención.

4.3 Simbiosis micorrícica y nutrición del café

Los hongos micorrícicos están simbióticamente asociados con la mayoría de los cultivos tropicales perennes, entre ellos el café. En las plantaciones, el café Arabica es colonizado comúnmente por micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) cuyos niveles de colonización de la raíz varían con la edad de la planta, el tipo de suelo, las prácticas agronómicas y las especies micorrícicas (Lopes *et al.*, 1983a; Riess y Sanvito, 1985).

Las raíces de la planta hospedera pueden ser colonizadas por esporas germinadas, por hifas esparcidas a lo largo de la raíz o por hifas de una raíz adyacente infectada. Luego del contacto de las hifas con la raíz, generalmente se inicia la penetración con la formación de un apresorio justo encima de la punta de la raíz en crecimiento, zona donde ocurre una activa elongación y diferenciación de células.

Luego de penetrar la célula epidermal, las hifas invaden la raíz ínter e intra celularmente sin inducir grandes cambios anatómicos. Las hifas dentro de la raíz producen vesículas terminales las cuales son órganos de almacenamiento y arbusculos que son los sitios principales para la transferencia de nutrimentos entre el hongo y su planta hospedera (figuras 4-4 y 4-5, y foto 4-2).

Las hifas son muy delgadas y visibles únicamente bajo un microscopio después de su coloración, se diseminan de la superficie de la raíz al suelo a una distancia que va de uno a varios centímetros (figura 4-5). Estas hifas externas aumentan considerablemente el volumen del suelo explorado así como la capacidad de absorción de nutrimentos de la planta hospedera, ya que es posible encontrar varios metros de hifas externas por gramo de suelo (Brundett *et al.*, 1994).

Debido a la simbiosis micorrícica, la absorción de nutrimentos inorgánicos puede incrementarse de un 15 a un 80%, en especial de fósforo (P), el cual se caracteriza por una baja movilidad y baja disponibilidad en los suelos tropicales con alta fijación de P, y también de otros micro nutrimentos (B, Zn, Cu) y cationes con baja movilidad (NH_4^+) (Marschner y Bell, 1994). Las hifas externas absorben estos nutrimentos de las partes no exploradas del suelo (figura 4-5) y los transportan dentro de las raíces de la planta hospedera. La transferencia de estos nutrimentos ocurre en la interfase entre el arbusculo y la célula de la raíz a cambio de los carbohidratos producidos por la planta hospedera mediante la fotosíntesis (Smith *et al.*, 1994).

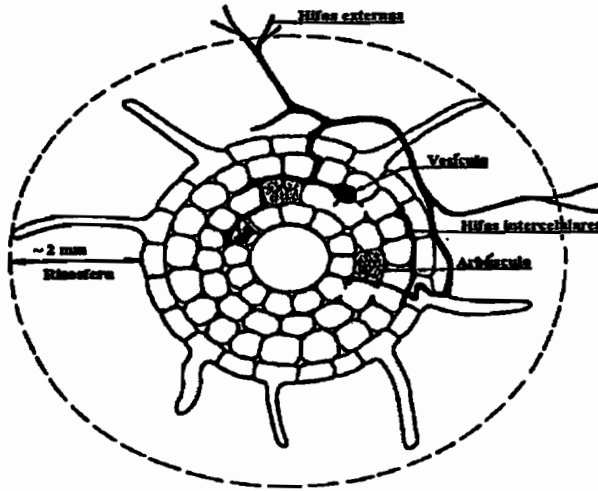


Figura 4-4. Representación esquemática de una raíz colonizada por un hongo micorrízico vesículo-arbuscular (Vaast 1995).

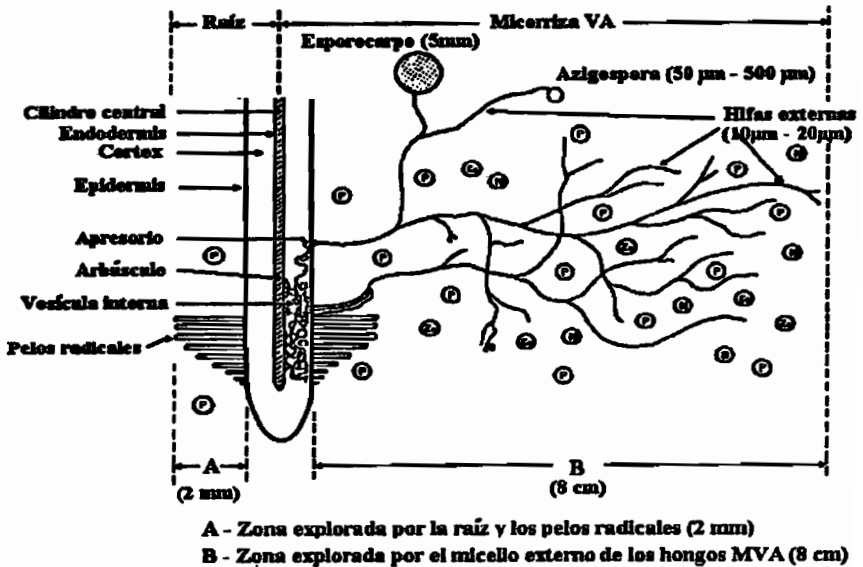


Figura 4-5. La simbiosis micorrízica permite incrementar la exploración del suelo y la absorción de los nutrientes (Vaast 1995).

Estas hifas externas también estimulan la microflora del suelo, en especial las bacterias aledañas a la raíz, lo cual permite una disolución mayor de los compuestos minerales, una mineralización más rápida y una mejor utilización de los compuestos orgánicos (Azcon-Aguilar *et al.*, 1993; Jayachandran *et al.*, 1992; Joner y Jackson, 1994). En consecuencia, esta red hifal externa desempeña un papel importante en el ciclo de nutrimentos, como el P, y en la conservación de nutrimentos, como el N, al limitar su lixiviación hacia los horizontes más profundos del suelo (Jeffries y Barea, 1994).

La inoculación micorrízica del café se efectúa en el vivero durante el trasplante de las plántulas al estadio cotiledonar ("manquito" o "soldado") del semillero a las bolsas. Dependiendo de la calidad del inoculó, se necesitan para cada bolsa entre 2 y 200 g de suelo que contenga esporas y raíces colonizadas por las hifas. El inóculo es colocado en el hoyo de siembra de la plantilla y se mezcla con el suelo circundante.

La producción de inoculó micorrízico es relativamente fácil y de bajo costo (Feldman e Idczac, 1992). En la actualidad, es posible obtener inóculo comercial en América Central. En Guatemala, por ejemplo, el costo de la inoculación es de únicamente US\$ 0.04 por plántula (Anzueto, comunicación personal).

La inoculación micorrízica es muy beneficiosa para el café, cuando: 1) el sustrato empleado en el vivero ha sido esterilizado o fumigado para eliminar enfermedades o plagas como los nematodos; 2) la densidad de inóculo del suelo es menor que 1 a 3 esporas/g; y 3) las especies introducidas son más eficientes que las endógenas (Saggin *et al.*, 1994; Vaast, 1995). En efecto, la inoculación micorrízica puede aumentar el crecimiento vegetativo de las plántulas de café Arabica de un 50 a un 300%, dependiendo de las especies micorrízicas involucradas y, en consecuencia, reducir hasta un 50% el tiempo necesario para producir en el vivero, las plantas de café listas para su trasplante al campo (Saggin *et al.*, 1992; Vaast y Zasoski, 1991).

Con el reciente desarrollo de técnicas de laboratorio que permiten la producción masiva de plantas de café *in vitro*, mediante microcultivos o embriogénesis somática (ver capítulo 13 de este libro), es importante mencionar que la inoculación micorrízica de las plántulas de café propagadas *in vitro*, durante la etapa de aclimatación, mejora considerablemente el desarrollo de sus raíces y su posterior supervivencia y crecimiento (Vaast *et al.*, 1996).

Los efectos benéficos de la inoculación micorrízica no se limitan a la etapa de vivero sino que continúan en el campo. En efecto, estudios de

campo efectuados en América del Sur han demostrado que la inoculación de las plántulas de café en el vivero, efectuada con especies nativas o introducidas, las cuales fueron seleccionadas por su alta eficiencia, reduce el porcentaje de mortalidad después del trasplante al campo (Sieverding y Toro, 1986) y además inducen precocidad en el rendimiento junto con una disminución de los requerimientos de fertilización (Siqueira *et al.*, 1993).

El monocultivo de café a largo plazo y la acidificación del suelo, provocada por la alta fertilización con N, reducen considerablemente la diversidad micorrícica (Vaast, 1995), lo cual resulta en la predominancia de una o de algunas especies que no son necesariamente las más efectivas para promover la asimilación de nutrimentos (Sieverding, 1989). Por lo tanto, la explotación duradera de la simbiosis micorrícica en el cultivo del café se puede lograr mediante la introducción de especies de micorrizas, seleccionadas por su eficiencia y adaptación a condiciones de suelo específicas y mediante la implementación de prácticas agronómicas (diversidad en la vegetación, enmiendas orgánicas, menores aportes de N) que permiten su persistencia en el campo.

En vista de los efectos benéficos de la simbiosis micorrícica que se han encontrado en las plantaciones de café en América del Sur, existe la necesidad de desarrollar estas prácticas de manejo en los países productores de café de América Central. Esta actividad debería dar inicio con la evaluación de especies micorrícicas nativas o introducidas que sean eficientes y que se adapten bien a las condiciones de campo del café.

4.4 Simbiosis micorrícica y tolerancia del café a las plagas y enfermedades

Además de mejorar el crecimiento, la nutrición y el rendimiento de la planta, la simbiosis micorrícica también puede mejorar la tolerancia de la planta a las plagas y enfermedades que atacan las raíces (Azcón-Aguilar y Barea, 1996). En lo que respecta al café, las únicas investigaciones efectuadas hasta ahora se refieren a los efectos de las micorrizas sobre los nematodos.

En condiciones de vivero, se ha demostrado que una inoculación micorrícica realizada en una etapa precoz que permita un buen establecimiento de la simbiosis antes de que las plantas estén expuestas al ataque de nematodos, da como resultado un incremento en la tolerancia del

café Arabica al género *Meloidogyne* (Dardon, 1996; Vaast, 1995) y al género *Pratylenchus* (Vaast, 1995). Estos dos géneros son altamente perjudiciales y se encuentran diseminados en las áreas productoras de café de América Central (Bertrand *et al.*, 1995; capítulo 10 de este libro).

El incremento de la tolerancia se debe al mantenimiento de un alto vigor y de un adecuado estado nutricional de las plantas micorrícicas (cuadros 4-2 y 4-3). La simbiosis micorrícica limita la pérdida de biomasa de la raíz, restringe el daño producido en la raíz por la presencia de nematodos, prolonga la habilidad de captación de las raíces infectadas por nematodos, estimula la ramificación de las raíces y el desarrollo de raíces finas y contribuye considerablemente, a través del micelio externo, a suplir la demanda de nutrimentos del café, en especial de P. Sin embargo, los resultados de estos estudios en café indican que la simbiosis no reduce la penetración y reproducción de los nematodos, como se observa en muchos estudios con otras plantas perennes (Pinochet *et al.*, 1996).

Cuadro 4-2. Efecto de la inoculación de MVA con *Acaulospora mellea* (Mellea), 7.5 meses después de agregar el nemátodo migratorio *Pratylenchus coffeae* (PC) sobre el área foliar, el peso de la raíz, el porcentaje de raíces colonizadas por la MVA, la concentración de P foliar y la densidad de nematodos en las raíces de plántulas de café de 11.5 meses de edad (Vaast 1995).

MVA	PC	Area foliar (cm ²)	Peso seco de raíces (g)	% raíces colonizadas	P foliar (%)	Densidad de nematodos (núm./g)
Ninguno	-	118 e ⁽³⁾	2,18 cd	-	0,058 c	-
	+	23 g	1,30 d	-	0,053 c	147 c
Mellea antes ⁽¹⁾	-	909 a	12,88 a	72 ab	0,108 a	-
	+	671 b	8,72 ab	56 b	0,102 a	1689 a
Mellea simul ⁽²⁾	-	215 d	2,36 c	53 b	0,085 ab	-
	+	65 f	1,30 d	23 d	0,059 c	209 c

(1) Inoculación MVA 4 meses antes de la adición de los nematodos.

(2) Adición simultánea de MVA y de los nematodos 4 meses después de la transferencia del cultivo en maceta.

(3) En la misma columna, los datos con la misma letra no son diferentes según la prueba de Newman & Keuls ($P < 0,05$).

Cuadro 4-3. Efectos de la inoculación de MVA con *Acaulospora mellea* (Mellea), 3.5 meses después de adicionar el nematodo de agallas *Meloidogyne konaensis* (MK), sobre el área foliar, peso de la raíz, porcentaje de raíces colonizadas por la MVA, concentración de P foliar y densidad de nematodos en las raíces de plántulas de café de 12.5 meses de edad (Vaast, 1995).

MVA	MK	Area foliar (cm ²)	Peso seco de raíces (g)	% raíces colonizadas	P foliar (%)	Densidad de nematodos (núm./g)
Ninguno	-	198 d ^(a)	2.76 c	-	0,058 c	-
	+	29 f	1,12 d	-	0,051 c	15 b
Mellea antes ⁽¹⁾	-	1487 a	17,36 a	67 a	0,094 a	-
	+	791 b	7,51 b	58 ab	0,078 b	46 a
Mellea simul ⁽²⁾	-	223 d	3,20 c	12 c	0,072 b	-
	+	26 f	0,898 d	2 d	0,061 c	17 b

(a) Inoculación MVA 4 meses antes de la adición de los nematodos.

(b) Adición simultánea de MVA y de los nematodos 4 meses después de la transferencia del cultivo en maceta.

(c) En la misma columna, los datos con la misma letra no son diferentes según la prueba de Newman & Keuls ($P < 0,05$).

Estos resultados preliminares sobre las poblaciones de nematodos altamente patogénicos son muy motivantes. No obstante, es necesario efectuar más investigaciones para determinar si la simbiosis micorrízica también incrementa la tolerancia a otras poblaciones de *Pratylenchus* y sobre todo de *Meloidogyne*, en vista del importante número de patotipos que se han identificado en las plantaciones de café de los países centroamericanos (Hernández, 1997). También es imperativo investigar si la inoculación en el vivero tiene un efecto duradero una vez que las plántulas son transferidas al campo. Si lo anterior se verifica, esta práctica de vivero podría convertirse en una alternativa menos costosa que el control químico con nematicidas, los cuales perjudican el medio ambiente y son efectivos sólo por un corto tiempo.

El impacto de enfermedades de la raíz tales como *Pythium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Rosellinia* y la corchosis, se ha aparentemente incrementado en América Central, específicamente en El Salvador (Cienfuegos y Ramírez

Amador, 1997) y en las islas del Caribe, particularmente en Haití (Descroix, comunicación personal). En los suelos tropicales, el desarrollo de condiciones de suelo adversas (bajo contenido de MOS, baja fertilidad, incremento en la acidez y toxicidad por Al) y el daño producido a las raíces por los nematodos son, en muchos casos, responsables de la diseminación de estas enfermedades (Hillock y Waller, 1997).

Los efectos benéficos de la simbiosis micorrícica contra las enfermedades antes mencionadas no han sido documentados para el cultivo del café. No obstante, esta área de la investigación aplicada presenta un potencial promisorio pues varios estudios recientes efectuados en plantas perennes, como el aguacate y los cítricos, han demostrado que la simbiosis micorrícica puede reducir considerablemente los efectos perjudiciales de estas enfermedades (Azcón-Aguilar y Barea, 1996).

El incremento de la tolerancia a las enfermedades que atacan a las raíces no se debe únicamente a un mayor vigor y a una mejor nutrición de las plantas micorrícicas, las cuales son capaces de soportar mejor el daño en las raíces ocasionado por los patógenos telúricos del suelo, ni a la presencia del micelio externo, el cual compensa el daño en la raíz al absorber los nutrimentos y el agua. La simbiosis también tiene efectos protectores gracias a diferentes mecanismos (Azcón-Aguilar y Barea, 1996). Las infecciones provocadas por los patógenos telúricos del suelo se pueden reducir o aún eliminar de las regiones de la raíz colonizadas por hongos micorrícicos. La simbiosis también puede inducir cambios en la exudación de la raíz y en las poblaciones microbiales en la rizósfera. En efecto, la producción de compuestos antibióticos y fungicidas y las poblaciones de microorganismos antagonistas, son estimuladas en la rizósfera de las raíces micorrícicas. Lo anterior produce una disminución en el carácter atractivo de la raíz y una reducción de la esporulación y desarrollo de los hongos patogénicos responsables de las enfermedades que atacan las raíces (Perrin, 1991).

4.5 Microorganismos antagonistas y estado sanitario de la raíz

Durante las dos últimas décadas, se han identificado numerosos organismos antagonistas de los patógenos fúngicos y nematodos que atacan las raíces de las plantas. Entre los más importantes están los hongos *Trichoderma* y *Gliocladium* y rizobacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas*

y *Pasteuria* (Rodríguez-Kabana y Kokalis-Burelle, 1997). Estos microorganismos tienen la habilidad de colonizar agresivamente la rizósfera y la superficie de las raíces, ganando así la competencia que surge con las poblaciones de patógenos presentes en el suelo por carbohidratos, nutrientes y sitios de infección. Su presencia también hace que las raíces sean menos atractivas a los nematodos y reducen su desarrollo y reproducción (Gowen, 1997; Spiegel *et al.*, 1996).

El desarrollo y la persistencia de estos antagonistas en el campo, los cuales ocurren en forma natural o inducida mediante la inoculación, se ven favorecida por prácticas agronómicas que mejoran el contenido de la MOS y la aeración del suelo. En los trópicos, los resultados preliminares de estudios de campo han mostrado que dichas prácticas refuerzan los efectos supresivos de los antagonistas (Palti y Katan, 1997).

Como se mencionó anteriormente, la presencia de la simbiosis micorrízica tiene efectos benéficos para el desarrollo de microorganismos antagonistas en la rizósfera de la planta hospedera. Existe documentación reciente sobre los efectos sinérgicos entre los hongos micorrízicos y los antagonistas contra los patógenos telúricos (Azcon-Aguilar y Barea, 1996). Por lo tanto, se puede proyectar una inoculación combinada de estos agentes biocontroladores y hongos micorrízicos en los viveros de café durante la fase de trasplante de las plántulas, siguiendo las técnicas de inoculación descritas previamente en este documento.

Durante los últimos diez años, se ha logrado avanzar en términos de reducción de costos de la producción masiva, la formulación y el uso práctico de inoculantes microbianos. Hoy en día, la comercialización de estos agentes biocontroladores se realiza en los Estados Unidos y en Europa. En consecuencia, ésta es un área de la investigación con potencial promisorio para el cultivo del café, donde el impacto de las plagas y enfermedades que atacan las raíces está aumentando y el control químico no es muy efectivo, a menudo demasiado costoso para los agricultores y perjudicial para el medio ambiente.

5 Comentarios Finales

Bajo condiciones ecológicas favorables como las que se presentan en el Valle Central de Costa Rica, el monocultivo intensivo de café (alta densidad de siembra de cultivares de porte bajo, poca o ninguna sombra, altos insumos de fertilizantes sintéticos y agroquímicos) puede ser económicamente muy rentable para los productores de café en el corto plazo,

especialmente cuando los precios del café son altos. Sin embargo, existe cada vez más información sobre sus efectos perjudiciales a largo plazo.

A nivel de campo, el monocultivo intensivo de café incrementa la erosión y la acidez del suelo, disminuye la diversidad microbiana y probablemente aumenta el parasitismo en el suelo.

A nivel regional, este sistema de cultivo de café tiene efectos negativos a largo plazo sobre el medio ambiente como son la pérdida de diversidad vegetal y animal y la contaminación de las aguas subterráneas por residuos químicos peligrosos para la salud humana.

Es evidente que se deben proponer alternativas para el monocultivo intensivo de café para minimizar los riesgos ambientales y asegurar los ingresos de los productores. Sean cuales sean las condiciones ambientales, es necesario que las instituciones extensionistas nacionales promuevan prácticas de manejo que limitan la erosión del suelo y que conservan la MOS de los agrosistemas de café.

En áreas que presentan condiciones climáticas y de suelo favorables, donde la sombra es el elemento más limitante para el rendimiento del café, se debe recomendar el empleo de leguminosas como cultivos de cobertura para limitar la erosión del suelo y mejorar sus propiedades físicas y químicas. La investigación en campo puede ser importante para evaluar las especies de leguminosas y las cepas de *Rhizobium* que se adapten a las condiciones locales, y proponer arreglos espaciales entre las leguminosas de cobertura y el café.

En condiciones menos favorables, el uso de leguminosas arbóreas de sombra se puede recomendar para mejorar las propiedades del suelo y el ciclo de los nutrientes y para amortiguar los efectos perjudiciales de las condiciones ambientales desfavorables. También se deben recomendar árboles de sombra como especies madereras y frutales para diversificar los ingresos de los agricultores.

La implementación de un manejo adecuado de la MOS contribuirá en gran medida a mejorar las propiedades del suelo y a ofrecer condiciones favorables para el establecimiento de una actividad biológica estable y diversificada de suelos dedicados al cultivo del café.

No obstante, aún es necesario realizar más investigaciones para definir y proponer prácticas agronómicas que incrementen la eficiencia de los procesos biológicos como son el FBN y la simbiosis MVA, con el propósito de limitar la utilización de fertilizantes sintéticos. Las instituciones de investigación también deben considerar las prácticas de manejo que favorezcan la diversidad microbiana en el suelo, particularmente de microorganismos antagonistas que ofrezcan alternativas no químicas para el

control de las plagas y enfermedades que atacan las raíces del café y para incrementar las ganancias económicas de los agricultores. Finalmente, los efectos de las leguminosas asociadas sobre la tolerancia del café a las plagas y enfermedades también merecen mayor atención.

Con la creciente preocupación por el medio ambiente y con la demanda de los consumidores por obtener productos de alta calidad libres de residuos químicos, el mercado de café orgánico se está expandiendo rápidamente. No hay duda de que se debe promover el cultivo de café orgánico. Sin embargo, es probable que este mercado permanezca solamente como un nicho económico durante las próximas dos a tres décadas, por lo que no es conveniente que los productores de café de América Central implementen esta práctica en forma masiva.

Bibliografía

- Alpizar, L.A. 1988. Interacción de café y otras plantas, con especial referencia a la sombra de tipo permanente. In Curso Regional sobre Nutrición del Café. San José, C.R., IICA. p. 55-82.
- _____; Fassbender, H.W.; Heuveldop, J.; Enríquez, G.; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. Turrialba 35: 233-242.
- Anzueto, F. 1993. Etude de la résistance du caféier (*Coffea* sp.) à *Meloidogyne* sp. et *Pratylenchus* sp. Thèse de Doctorat. Rennes, Francia, ENSA.
- Avelino, J.; Seibt, R.; Zelaya, H.; Ordonez, M.; Merlo, A. 1997. Encuesta-diagnóstico sobre la roya anaranjada del cafeto en Honduras. In Memorias del XVIII Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José, C.R., Editorama. p. 379-385.
- Azcon-Aguilar, C.; Barea, J.M. 1996. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens - an overview of the mechanisms involved. Mycorrhiza 6: 457-464.
- _____; Alba, C.; Montilla, M.; Barea, J.M. 1993. Isotopic (¹⁵N) evidence of the use of less available N forms by VA mycorrhizas. Symbiosis 15: 39-48.
- Babbar, L.I.; Zak, D.R. 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. Agri. Ecosys. Environ. 48: 107-113.
- _____; Zak, D.R. 1995. Nitrogen loss in coffee agroecosystems: leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees. J. Environ. Qual. 24: 227-233.
- Beer, J.; Muschler, R.; Kass, D.; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agrofor. Syst. 38: 139-164.

- Bertrand, B.; Anzueto, F.; Pena, X.M.; Anthony, F.; Eskes, A. 1995. Genetic improvement of coffee for resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Central America. In Proceedings of the 16th International Conference on Coffee Research in Kyoto. Paris, France, Jouve. p. 630-636.
- Bouharmont, P. 1979. L'utilisation des plantes de couverture et du paillage dans la culture du caféier Arabica au Cameroun. *Café Cacao Thé* 23(2): 75-102.
- Brundrett, M.; Melville, L.; Peterson, L. 1994. Practical methods in mycorrhiza research. Waterloo, Mycologue Publications.
- Campos, V.P.; Sivapalan, P.; Gnanapragasam, N.P. 1990. Nematode parasites of coffee, cocoa, and tea. In M. Luc; R.A. Sikora; J. Bridge J (eds.). Plant parasitic nematodes of the subtropical and tropical agriculture. Wallingford, CAB International. p. 387-430.
- Cannell, M.G.R. 1985. Physiology of the coffee crop. In M.N. Clifford; K.C. Willson (eds.). Coffee botany, biochemistry and production of bean and beverage. Londres, Reino Unido, Croom Helm. p. 108-134.
- Carvajal, J.F. 1984. Cafeto - cultivo y fertilización. 2 ed. Berna, Suiza, Instituto Internacional de la Potasa.
- Cienfuegos, R.E.; Ramírez Amador, R. 1997. Caracterización de la problemática de los hongos de suelo en condiciones de campo en cafetales establecidos. In Memorias del XVIII Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José, C.R., Editorama. p. 281-290.
- D'Ambrosio, A.; Cabalceta, G.; Bornemisza, E. 1993. Acumulación y concentración de cobre en plantaciones de café bajo dos niveles tecnológicos en Andisoles e Inceptisoles. 9º Congr. Nac. Colegio de Ing. Agr. Vol 2, 231.
- Dardon, J.E.M. 1996. Evaluación del efecto benéfico de las micorrizas en almácigos de café *Coffea arabica*, finca Buena Vista, San Sebastián Retalhuleu. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Guatemala, Universidad Rafael Landívar.
- Enríquez, G.A.; López-Rubio, A. 1997. Manejo integrado de los residuos agroindustriales en Costa Rica. In Memorias del XVIII Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José, C.R., Editorama. p. 461-470.
- Fassbender, H.W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. Turrialba, C.R., CATIE.
- Feldmann, F.; Idczak, E. 1992. Inoculum production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. In Methods in microbiology. Nueva York, EE.UU., Academic Press. p. 339-357.
- Gowen, S.R. 1997. Some promising results from field application of *Pasteuria penetrans* for control of root-knot nematodes. In Proceedings of the 6th International Colloquium on Invertebrate Pathology and Microbiological Control. FASEB/C.I.P, Bethesda, p. 21.
- Guyot, B.; Gueule, D.; Manez, J.C.; Perriot, J.J.; Giron, J.; Villain, L. 1996. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés Arabica. *Plantations, Recherche, Développement*. 3(4): 272-283.

- Hernández, H. 1997. Etude de la variabilité intra et interspécifique des nématodes du genre *Meloidogyne* parasites des caféiers en Amérique Centrale. Thèse de doctorat. USTL Montpellier 2.
- Herrera, I.C. 1997. Efecto de coberturas vivas de leguminosas en el control de nematodos fitoparasitos del café. In *Memorias del XVIII Simposio Latinoamericano de Caficultura*. San José, C.R., Editorama. p. 387-391.
- Hillocks, R.J.; Waller, J.M. 1997. Associations between soilborne pathogens and other soil-inhabiting microorganisms. In R.J. Hillocks; J.M. Waller (eds.). *Soilborne diseases of tropical crops*. Wallingford, CAB International. p. 361-364.
- Jayachandran, K.; Schwab, A.P.; Hetrick, B.A.D. 1992. Mineralization of organic phosphorus by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 24: 897-903.
- Jeffries, P.; Barea, J.M. 1994. Biogeochemical cycling and arbuscular mycorrhizas in the sustainability of plant-systems. In S. Gianinazzi; H. Schüepp (eds). *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Birkhäuser, Basel. p. 101-105.
- Jiménez-Avilla, E. 1982. Estudios ecológicos del agrosistema cafetalero. III. Efecto de diferentes estructuras sobre el balance hídrico del cafetal. In E. Jiménez-Avilla; P.A. Gomes (eds). *Estudios ecológicos del agrosistema cafetalero*. p. 39-54.
- Joner, E.J.; Jakobsen, I. 1994. Contribution by two arbuscular mycorrhizal fungi to P uptake by cucumber (*Cucumis sativus* L.) from ³²P-labelled organic matter during mineralization in soil. *Plant and Soil* 163: 203-209.
- Lidell, C.M. 1997. Abiotic factors and soilborne diseases. In R.J. Hillocks; J.M. Waller (eds.). *Soilborne diseases of tropical crops*. Wallingford, CAB International. p. 365-376.
- Lopes, E.S.; Oliviera, E.; Dias, R.; Schenck, N.C. 1983a. Occurrence and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in central Sao Paulo state, Brazil. *Turrialba* 33: 417-422.
- _____; Oliviera, E.; Neptune, A.M.L.; Moraes, F.R.P. 1983b. Efeito da inoculação do cafeeiro com diferentes espécies de fungos micorrizicos vesicular-arbusculares. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 7: 137-141.
- Marschner, H.; Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102.
- Nygren, P.; Ramírez, C. 1995. Production and turnover of N₂ fixing nodules in relation to foliage development in periodically pruned *Erythrina poeppigiana* (leguminosae) tress. *For. Ecol. Man.* 73: 59-70.
- Palti, J.; Katan, J. 1997. Effects of cultivation practices and cropping systems on soilborne diseases. In R.J. Hillocks; J.M. Waller (eds). *Soilborne diseases of tropical crops*. Wallingford, CAB International. p. 377-396.
- Pavan, M.A. 1983. Efeito toxico de aluminio em cafeeiros. In *Actes du Dixième Colloque Scientifique International du Café à Salvador de Bahia*. Paris, Francia, Jouve. p. 477-482.

- Perrin, R. 1991. Mycorrhizes et protection phytosanitaire. In D.G. Strullu (ed.). Les mycorrhizes des arbres et plantes cultivées. Paris, Francia, Lavoisier. p. 93-130.
- Pinochet, J.; Calvet, C.; Camprubi, A.; Fernández, C. 1996. Interactions between migratory endoparasitic nematodes and arbuscular mycorrhizal fungi in perennial crops: A review. *Plant and Soil* 185: 183-190.
- Reynolds-Vargas, J.S.; Richter, D.D.; Bornemisza, E. 1994. Environmental impacts of nitrification and nitrate adsorption in fertilized andisols in the Valle Central of Costa Rica. *Soil Sci.* 157: 289-299.
- Riess, S.; Sarvito, A. 1985. Investigations on vesicular arbuscular mycorrhizae in different conditions of coffee cultivations in Mexico. *Micol Ital* 14: 57-62.
- Robson, A.D.; Abbott, L.K. 1988. The effect of soil acidity on microbial activity in soils. In A.D. Robson (ed.). *Soil Acidity and Plant Growth*. New York, EE.UU., Academic Press. p. 139-166.
- Rodríguez-Kabana, R.; Kokalis-Burelle, N. 1997. Chemical and biological control. In R.J. Hillocks; J.M. Waller (eds.). *Soilborne diseases of tropical crops*. Wallingford, CAB International. p. 397-418.
- Roskoski, J.P. 1981. Nodulation and N₂ fixation by *Inga jinicuil*, a woody legume in coffee plantations. I. Measurements of nodule biomass and field C₂H₂ reduction rates. *Plant and Soil* 59: 201-206.
- Saggin Jr., O.J.; Siqueira, J.O.; Colozzi-Filho, A., Oliveira, E. 1992. A infestação do solo com fungos micorrizicos no crescimento post-transplante de mudas de cafeiro nao micorrizadas. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 16: 39-46.
- Schnitzer, M. 1982. Organic matter characterization. In A.L. Page; R.H. Miller; D.R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Madison, Am. Soc. of Agron. p. 581-594.
- Sieverding, E. 1989. Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. *Agri. Ecosys. Environ.* 29: 369-390.
- _____; Toro, S. 1986. Efecto de la inoculación de hongos micorrizicos va en plantulas de café (*Coffea arabica* L.) y de te (*Camellia sinensis* (L) O. Kuntze). Memoria de Seminario sobre Micorrizas. Medellín, Col. p. 100-109.
- Siqueira, J.O.; Colozzi-Filho, A.; Saggin Jr., O.J.; Guimaraes, P.T.G.; Oliveira, E. 1993. Crescimento de mudas e producao do cafeiro sob influencia de fungos micorrizicos e superfosfato. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 17: 53-60.
- Smith, S.E.; Gianinazzi-Pearson, V.; Koide, R.; Cairney, J.G.W. 1994. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. *Plant and Soil* 159: 103-113.
- Snoeck, D. 1995. Interaction entre végétaux fixateurs d'azote et non fixateurs en culture mixte : cas des *Leucaena* spp. associés à *Coffea arabica* L. au Burundi. Thèse de Doctorat. Université de Lyon 1.
- _____; Bitoga, J.P.; Barantwaririje, C. 1994. Avantages et inconvenients des divers modes de couverture dans les caféières au Burundi. *Café Cacao Thé* 38 (1): 41-48.
- Snoeck, J.; Jadin, P. 1990. Mode de calcul pour l'étude de la fertilisation minérale des caféiers basée sur l'analyse du sol. *Café Cacao Thé* 34 (1):3-16.

- Spiegel, Y.; Chet, I.; Mor, M.; Kleifeld, O.; Sharon, E.; Bar-Eyal, M. 1996. *Trichoderma harzianum* preparation as a biocontrol agent against the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. In Proceedings of the 6th International Colloquium on Invertebrate Pathology and Microbiological Control. FASEB/C.I.P, Bethesda. p. 22.
- Vaast, P. 1995. The effects of vesicular arbuscular mycorrhizae and nematodes on the growth and nutrition of coffee. Ph.D. thesis. Davis, EE.UU., University of California.
- _____; Zasoski, R.J. 1991. Effects of nitrogen sources and mycorrhizal inoculation with different species on growth and nutrient composition of young coffee seedlings. *Café Cacao Thé* 35: 121-129.
- _____; Zasoski, R.J.; Bledsoe, C.S. 1996. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of *in vitro* propagated coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Mycorrhiza* 6: 493-497.
- _____; Zasoski, R.J.; Bledsoe, C.S. 1998. Effects of solution pH, temperature, $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios, and inhibitors on ammonium and nitrate uptake by arabica coffee in short-term solution culture. *J. Plant Nutrition* 21(7): 1551-1564.
- Woomer, P.L.; Martin, A.; Albrecht, A.; Resck, D.V.S.; Scharpenseel, H.W. 1994. The importance of management of soil organic matter in the tropics. In P.L. Woomer; M.J. Swift (eds.). *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester, John Wiley & Sons. p. 47-80.
- Wrigley, G. 1988. *Coffee*. Nueva York, EE.UU., Longman Scientific & Technical y Wiley & Sons.

CAPÍTULO 5

EL BENEFICIADO ECOLÓGICO DEL CAFÉ

Rolando Vásquez, ICAFE de Costa Rica*

1 *Introducción*

La caficultura es una de las actividades económicas de mayor trascendencia en los países centroamericanos.

El proceso de globalización ha provocado que las empresas se encuentren dentro de un esquema de alta competitividad, debido a que sus clientes externos e internos son más exigentes en todos los campos de la producción.

Dentro de este proceso, la agroindustria del café está llamada a realizar sus labores con el menor deterioro posible del medio ambiente. Si bien se reconoce que esta actividad es beneficiosa para la calidad de vida de los individuos en general, también tiene que responder a los cambios que el entorno demanda.

El beneficiado húmedo del café permite la obtención de cafés de muy buena calidad como lo son los suaves lavados colombianos o los otros suaves lavados centroamericanos en contraposición de aquellos cafés beneficiados por vía seca conocidos como ásperos o duros.

Lamentablemente, el beneficiado húmedo convencional ha estado asociado con la generación de importantes cantidades de contaminantes orgánicos contenidos en las aguas de procesamiento. Estas aguas están posteriormente vertidas en los ríos, con el consecuente empobrecimiento de la calidad del agua de nuestros ríos.

* ICAFE. Apartado 131-3009. Santa Bárbara de Heredia, Costa Rica. Fax: (506) 237-1975.

El beneficiado húmedo de un kilogramo de café verde provoca, mediante la generación de las aguas de lavado y de despulpado, una contaminación equivalente a la generada por 5.6 personas adultas por día. En la Gran Área Metropolitana de San José, donde habita el 50% de la población costarricense -1.5 millones de personas-, sólo el café producía hace 5 años una contaminación equivalente a la que produce una población de 6 millones de personas. Este hecho refleja la gravedad del problema y la necesidad imperiosa del cambio.

La toma de conciencia conservacionista creciente en el ámbito nacional como internacional determinan nuestra obligación y nuestro compromiso en desarrollar una tecnología adecuada que permita reducir la contaminación asociada al beneficiado húmedo. Para ello, se tiene que abandonar la concepción negativa del manejo de los desechos del café, los cuales tienen que ser considerados como valiosos subproductos. Esta forma de visualizar el problema es de gran importancia en la solución del mismo.

En Costa Rica, a partir del año 1992, se instauró un plan para disminuir la contaminación provocada por el beneficiado cuyo coordinador fue el Instituto del Café de Costa Rica en su calidad de rector de la caficultura costarricense. El plan mencionado ha sido implantado por etapas en las plantas beneficiadoras. Ha permitido un desarrollo gradual de tecnología, y su traslado al sector beneficiador. Dicho plan, acogido por diferentes instituciones involucradas en el control de los vertidos de aguas residuales, se conoce como Convenio de Cooperación Interinstitucional. Una gran parte de la información presentada aquí se generó durante la implementación de este convenio. Sus logros serán detallados en la última parte de este capítulo.

2 Contaminación por el Beneficiado Húmedo Convencional del Café

2.1 El agua en el beneficiado convencional

Los usos del agua en el beneficio húmedo son diversos y están relacionados con funciones como:

1. el despedrado y la remoción de otros materiales como restos de ramas y hojas del cafeto que acompañan a la fruta,
2. el despulpado.

3. la remoción de las mieles que envuelven las semillas y el lavado de estas semillas,
4. la clasificación de las semillas lavadas,
5. el transporte en todas estas etapas (de la fruta, y luego del grano y de la pulpa).

El empleo de las prácticas mencionadas como son el despulpado del café y el lavado de sus mieles posibilitan la preservación de la calidad intrínseca del café. La disminución de la humedad del grano lavado del 53% de humedad al 12% de humedad con el empleo de secadoras mecánicas o bien de patios de secado constituye el complemento obligado de la fase húmeda del beneficiado.

Este beneficiado se acompaña de prácticas seguras de almacenamiento en bodegas o silos previo al despergaminado -remoción del endocarpio del fruto o cáscara interna- y clasificación final del café (figura 5-1).

2.2 Medidas de la contaminación

Algunos parámetros empleados para medir la contaminación de aguas son la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Debido a la mención reiterada que hacemos de los mismos en este capítulo creemos conveniente definirlos.

De acuerdo con la empresa Dégremont (1973), la DBO "es la cantidad de oxígeno expresada en mg/l consumida en las condiciones del ensayo (incubación a 20°C y en la oscuridad) durante un tiempo dado, para asegurar la oxidación por vía biológica, de las materias orgánicas biodegradables presentes en el agua".

Tal como lo señala esa publicación, la oxidación completa exige un tiempo de 21 a 28 días, pero debido a que esos períodos son demasiado largos, ha sido reemplazada convencionalmente por la DBO₅, es decir por la cantidad de oxígeno consumida después de 5 días de incubación.

La DQO es una "determinación de la fuerza contaminante de aguas de desecho en términos de la cantidad total de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica a dióxido de carbono y agua" (Sánchez *et al.*, 1981).

En este capítulo, se harán repetidas menciones a la DQO. Por los altos valores citados, se ha preferido expresar esta medida en gramos por litro (g.l⁻¹) en vez de los usuales miligramos por litro.

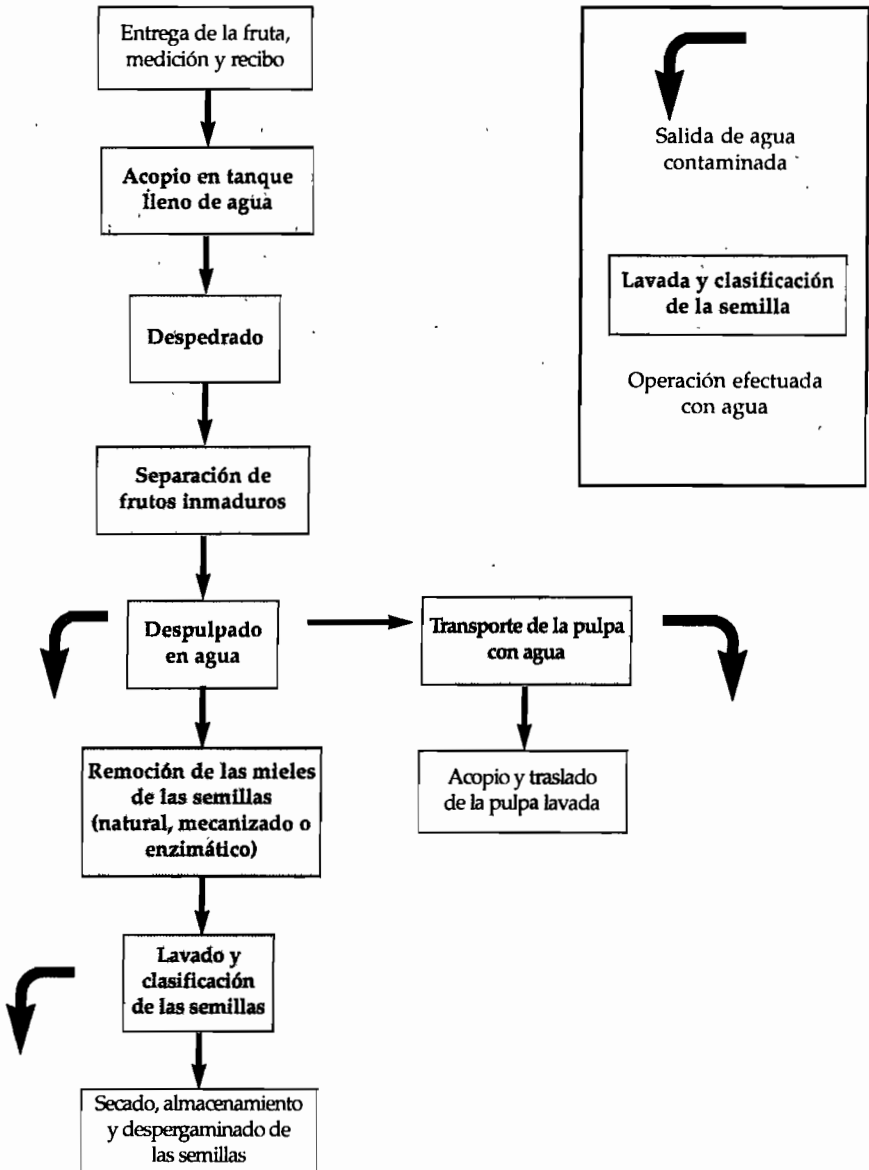


Figura 5-1. Etapas de procesamiento del café en el beneficiado húmedo convencional. Se destacan las salidas de agua contaminada.

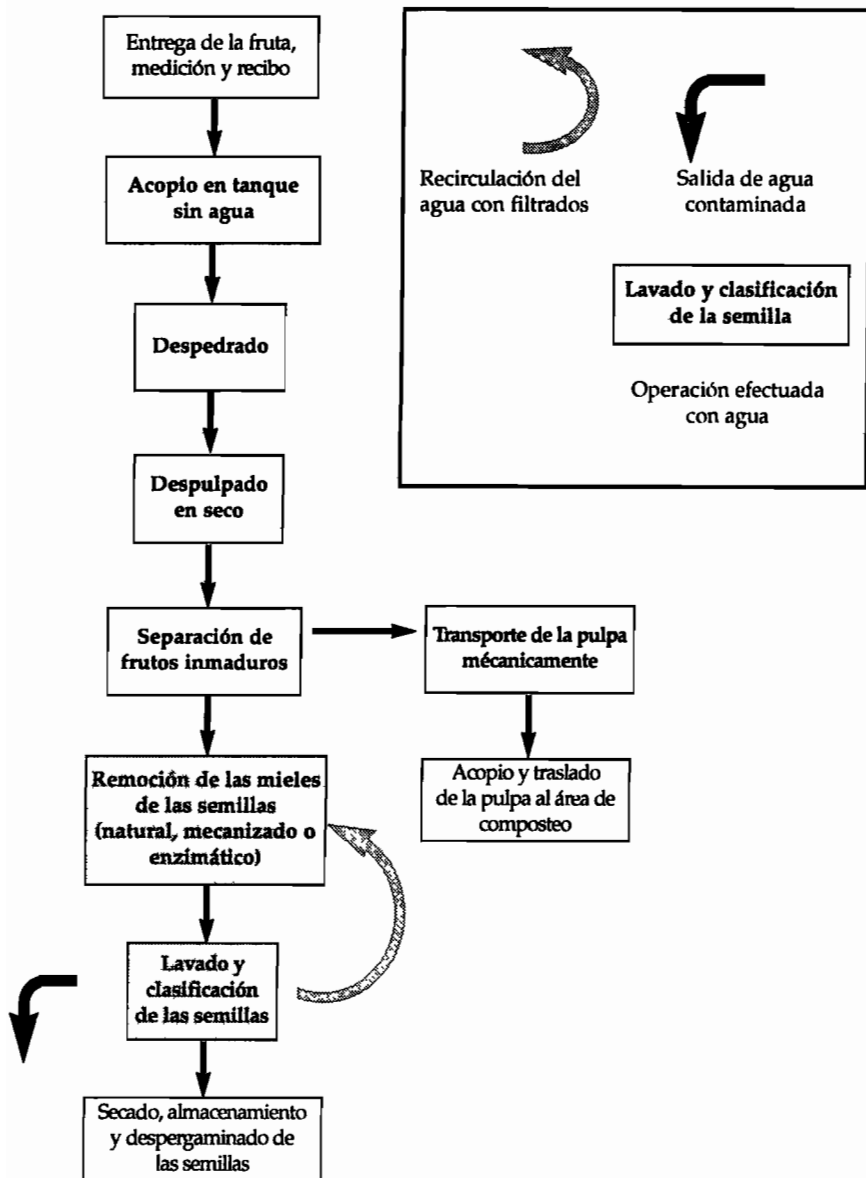


Figura 5-2. Etapas de procesamiento del café en el beneficiado húmedo ecológico. Se destacan la única salida de agua contaminada y la recirculación del agua de lavado.

2.3 Contaminación por el beneficiado húmedo convencional

En el beneficiado húmedo del café (figura 5-1) se generan tres diferentes fuentes de contaminación: las aguas de despulpado, las aguas de lavado y la pulpa misma cuando es vertida a los ríos.

Globalmente, el beneficiado húmedo convencional genera una contaminación equivalente a 330 gramos de DQO por cada kilogramo de café verde procesado, sin tomar en cuenta el vertido de la pulpa en los ríos.

Investigaciones nuestras establecen que la pulpa de café puede perder hasta un 26% de su peso seco mientras es transportada fuera del beneficio. Esa pérdida de peso seco no sólo es una importante fuente de contaminación sino también representa un gran empobrecimiento de la pulpa, lo que limita seriamente su uso futuro. Hemos determinado que las aguas de despulpado en el beneficiado húmedo convencional aportan una carga contaminante de 160 gramos de DQO por kilogramo de café verde.

Otra de las fuentes de contaminación es el lavado de las mieles que rodean la semilla del café, operación que debe ser realizada previo al secado. Las aguas de lavado aportan 170 gramos de DQO.

La tercera forma de contaminación puede ser causada por el vertido de la pulpa o de fracciones de ella a las fuentes de agua y, de producirse, sería la más importante.

3 Estrategia para Lograr la Descontaminación de las Aguas Residuales del Beneficiado del Café

La contaminación generada por el beneficiado húmedo puede ser disminuida mediante acciones tomadas a diferentes niveles (figuras 5-1 y 5-2):

- intentando recircular el agua entre las diferentes etapas donde es utilizada,
- tamizando las aguas después del despulpado y del lavado,
- mediante el empleo de tanque sedimentadores,
- eliminando la práctica de despulpado húmedo y del transporte de la pulpa con agua,
- tratando las aguas a la salida del beneficiado.

3.1 La recirculación del agua

La recirculación de las aguas no sólo es obligatoria para lograr la viabilidad económica del tratamiento de las aguas residuales del café sino que, de acuerdo a investigaciones nuestras, la recirculación disminuye la liberación de sólidos por la pulpa hasta en un 30% (Vásquez y Rodríguez, 1993), cuando la concentración de las aguas se ubica en 11 g.l⁻¹ de DQO. Cuando esa concentración se ubica en 30 g.l⁻¹ de DQO, la liberación de contaminantes por la pulpa puede bajar hasta en más de un 50%.

Esta menor generación de contaminantes por parte de la pulpa permite entregar una pulpa más rica para cualquier uso posterior que de ella se quiera hacer. Estas observaciones son particularmente interesantes en caso de no implementar el despulpado en seco y el transporte no hidráulico de la pulpa.

Un área muy importante en la que se tuvo que laborar antes de recomendar la recirculación de aguas de despulpado es la influencia que esta práctica ejerce sobre la calidad del café. La investigación realizada demostró que nuestra principal preocupación sobre la posible aparición de olores o sabores extraños no se presentaba (Vásquez, 1993). No sólo no se presentaron problemas de olores o sabores extraños, sino que se confirmó que la recirculación de aguas del despulpado durante un día y hasta dos días, le confirió al café mayores condiciones de acidez así como de aroma. La variable cuerpo no mostró diferencias entre la práctica convencional y la recirculación.

La recirculación baja considerablemente los períodos de fermentación de las mieles que envuelven la semilla. Esto representa una ampliación real de la disponibilidad de los tanques o pilas de fermentación, ya que el café va a ser evacuado de las pilas más rápidamente. Esto por su parte significa que se debe prestar mayor atención a la fermentación del café con el propósito de realizar el lavado de las semillas en el momento oportuno.

En algunas plantas beneficiadoras donde el agua es bombeada desde los ríos o bien donde el agua residual es bombeada hacia los ríos, la recirculación ha significado un importante ahorro energético pues el consumo de energía para el bombeo se ha visto reducido.

3.2 El tamizado fino de las aguas

La segunda etapa donde se puede reducir la contaminación es el establecimiento y operación de tamices tipo "V wire", los cuales son responsables de la retención de cualquier sólido mayor de 0.75 milímetros de grosor suspendido en el agua. Estos tamices trapezoidales ya sean los de arco o bien los de forma cilíndrica están retirando grandes cantidades de sólidos gruesos de las aguas. Tanto las aguas de despulpado como las de lavado deben ser tamizadas.

Los tamices cilíndricos tienen un mejor desempeño cuando operan con aguas de lavado.

Se han presentado algunos problemas de taponamiento de los tamices a causa del crecimiento bacteriano en las rejillas así como por adherencias de sustancias mucilaginosas. Estos problemas han sido resueltos lavando los tamices con una solución de soda cáustica al 5%, a razón de un litro por tamiz. Dicha limpieza debe ser realizada al menos cada dos días para permitir un desempeño eficiente de los tamices. Las lechadas de hidróxido de calcio realizan también una muy buena labor de desprendimiento de sustancias mucilaginosas.

Es conveniente que la limpieza de los tamices se haga todos los días, inmediatamente después que se ha terminado el beneficiado.

La cantidad de sólidos recuperados por los tamices en beneficios donde todavía se practica el transporte de pulpa con agua, está relacionada con la eficiencia de los separadores pulpa-agua.

Algunos beneficiadores han utilizado los tamices trapezoidales de arco como desaguadores de pulpa en forma exitosa. Para quien no practica el despulpado en seco, esa práctica representa un ahorro económico ya que realiza con un mismo aparato dos funciones diferentes.

3.3 El empleo de tanques sedimentadores

El empleo de tanques sedimentadores para la remoción de sólidos suspendidos es otra acción que permite limitar la contaminación de las aguas de recirculación, después de su tamizado. En dichos tanques el tiempo de retención del agua es de 1 hora.

Estos tanques deben ser diseñados para remover el 50% de los sólidos suspendidos; cumplen además en muchos casos la función de tanques de trasiego de agua, ya que desde ellos el agua es devuelta al beneficio para ser reutilizada.

Diariamente se deben evacuar los sedimentos y las natas y los mismos deben ser llevados a la laguna de lodos.

3.4 El despulpado en seco y transporte sin agua de la pulpa

En el beneficiado húmedo, el despulpado se puede realizar en seco. Este cambio de práctica se perfila como la forma más económica de provocar la atenuación mayor de la contaminación de las aguas. Sin embargo, supone el abandono del empleo de las separadoras de verde -las que han sido de gran aceptación en el beneficiado costarricense- y la instauración una vez más de los despulpadores de café de tambor o de disco.

La práctica de no permitir el contacto pulpa-agua permite bajar la generación de contaminantes en más de un 50%. Este despulpado en seco significa, sin embargo, el rediseño de muchos de los beneficios y el empleo de transportadores mecánicos (e. g., helicoidales o bandas de hule). También significa el no poder usar agua para recuperar algunas semillas que se confunden con la pulpa cuando el mantenimiento de los equipos no es hecho oportunamente.

El abandono en el uso de las separadoras de verde, el cambio de sistema de despulpado, las inversiones en transportadores mecánicos y la imposibilidad del empleo del agua para la recuperación de semillas de la pulpa del café, provocan una muy importante resistencia al cambio dentro del sector beneficiador.

3.5 Tratamiento anaerobio de las aguas

El último paso para la reducción de la contaminación de las aguas del beneficiado es el tratamiento anaerobio de las aguas, a la salida del beneficio. Se puede realizar por medio de reactores de flujo ascendente o con sistemas de lagunas. Existen otras tecnologías que permiten reducir la contaminación, sin embargo, el autor considera que los sistemas anaerobios representan, al momento, la mejor opción para el tratamiento de las aguas residuales del café.

En ese campo, el ICAFE de Costa Rica ha promovido varias investigaciones cuyo objetivo primordial ha sido la determinación de los parámetros de diseño de estos sistemas, ya que dichas aguas son particularmente

difíciles de tratar. Tales investigaciones, han permitido generar información acerca de los costos de inversión y mantenimiento de los sistemas de tratamiento.

Durante la cosecha 1996-1997, trabajos realizados por el ICAFE, el beneficio San Juanillo de Naranjo y la Embajada Real de los Países Bajos, permitieron realizar el diseño, la construcción y operación de un reactor anaerobio de flujo ascendente, ubicado en el beneficio San Juanillo de Naranjo. Para tal fin fue contratada la empresa consultora holandesa BTG, para que desarrollara técnicamente el proyecto (ICAFE-BTG, 1997).

Este reactor tiene una capacidad de 400 m³. Los costos de inversión fueron de US\$113 776 (US\$284 por m³). Puede tratar la contaminación generada por de hasta 100 toneladas de café fruta por día. Además, el sistema posee un tanque de almacenamiento de 200m³ de capacidad, lo cual equivale al 50% del volumen diario de aguas residuales. El reactor posee un tanque de recirculación con el fin de aprovechar la alcalinidad residual y el biogás generado del proceso se utiliza como combustible.

La función elemental de un reactor lo constituye la acidificación de la materia orgánica disuelta en el agua hasta ácido acético primordialmente, su neutralización y conversión a acetatos y la digestión de éstos por las bacterias hasta metano y en menor medida dióxido de carbono.

Se muestran en el cuadro 5-1 algunos datos relevantes en torno al reactor anaerobio de San Juanillo de Naranjo.

Cuadro 5-1. Características y dimensiones relevantes del reactor anaerobio de San Juanillo de Naranjo.

Capacidad de procesamiento de café	100 t café fruta/día 8890 t café fruta/año
Volumen de agua residual	400 m ³ /día
Concentración de agua residual	Hasta 10 g.l ⁻¹ DQO
Eficiencia medida (materia orgánica)	82.6%
Producción de biogás	544 m ³ /día, 2800 m ³ /semana
Acidez (pH)	6.1 entrada-6.7 salida
Alcalinizante empleado	N _a OH

Se monitoreó el funcionamiento de este reactor durante todo el período de cosecha. Debido al estricto control, el proceso tuvo una buena estabilidad de operación. Pese a algunos contratiempos (intoxicación del sistema, fugas, insuficiencia en transferencia de los intercambiadores), el sistema logró buenos resultados en la reducción de la contaminación, llegando a pasar de 6.5 a 1.14 g.l⁻¹ de DQO, lo que representa una eficiencia promedio de 82.6%. Los costos operativos de los dos módulos de los reactores anaerobios fueron de US\$0.54 para 254 kg de café fruta, los cuales corresponden en un 80% a la neutralización con soda cáustica.

También en esa misma cosecha (1996-1997) el ICAFE, CAPRE-GTZ y el Instituto Tecnológico de Costa Rica realizaron una evaluación de tres sistemas de lagunas anaerobias y uno aeróbico (CAPRE-GTZ *et al.*, 1997).

Los sistemas de tratamiento evaluados presentan características bastante disímiles en aspectos hidráulicos y de operaciones. Los resultados de esa evaluación muestran eficiencias que van de 50% (para los sistemas más nuevos) hasta un 93% (para sistemas maduros) en términos de reducción de la DQO.

De los sistemas evaluados, el que alcanzó los mejores resultados fue la laguna anaerobia del beneficio El General ubicada en Pérez Zeledón, donde la eficiencia en DQO fue en promedio igual a 93% y en DBO igual a 94%.

Se muestran algunos datos relevantes de la laguna anaerobia del beneficio El General en el cuadro 5-2.

Es necesario tomar en cuenta que este beneficio ha efectuado cambios en el proceso tales como despulpado en seco, transporte no hidráulico de la pulpa, así como el desmucilaginado mecánico de la miel del fruto. Estas prácticas han disminuido en al menos un 50% la contaminación y también han permitido concentrar las mieles favoreciendo su tratamiento.

Algunas observaciones sobre las lagunas anaerobias:

- Los costos para lagunas sin impermeabilizar son de US\$4.68/m³ e impermeabilizada de US\$7.66/m³. El volumen de la laguna está en función del consumo de agua así como del tiempo de retención hidráulica establecido.
- La neutralización se efectúa con cal, lo que representa una disminución en los costos de operación, con respecto a la soda cáustica.
- Este tipo de tratamiento requiere un área mucho mayor que los reactores.

Cuadro 5-2. Características de la laguna anaerobia del beneficio El General durante el período de evaluación.

Volumen diario de café	76-200 t café fruta/día
Despulpado y transporte de pulpa	Seco
Desmucilaginado	Mecánico
Laguna anaerobia	
Area laguna	7500 m ²
Volumen de laguna	15 000 m ³
Caudal promedio	529 m ³ /día
Tiempo de retención	28 días
Consumo de agua	0.66 m ³ /254 kg café fruta
Acidez (pH)	4.5 entrada-6.7 salida
Alcalinizante	Hidróxido de calcio (cal)
Carga orgánica por hectárea/día	14 959 kg DQO

- Requiere controles bastante menos exhaustivos para su operación que el reactor.
- Soporta choques de carga hidráulica así como orgánica.
- La neutralización insuficiente del agua de la laguna reduce la eficiencia del sistema y permite la aparición de fuertes olores.

Uno de los beneficios evaluados utilizó un sistema de tratamiento aerobio, el cual incorpora aire por medios mecánicos. Las aguas de esta laguna son enviadas nuevamente al proceso, donde son utilizadas en el despulpado del café y en el primer lavado. Este tratamiento tiene características de un proceso de lodos activados con aireación extendida por su forma de operación, sin embargo el sistema no ha logrado tener oxígeno

disuelto en el agua, debido a las concentraciones que se manejan normalmente en el beneficio por su alta recirculación.

El tratamiento demanda que el sistema trabaje al menos un mes más posterior a la cosecha lo que significa que se deba incurrir en altos costos energéticos. Para entonces la concentración de contaminantes en la laguna se encuentra muy por debajo de la normativa vigente de descarga de aguas residuales.

4 Valorización de los Subproductos del Café

Los desechos producidos por el beneficiado del café tienen un gran potencial de contaminación (por ejemplo, si se vierte la pulpa o el mucílago del café a los ríos). Sin embargo, pueden ser visualizados en forma positiva y aprovechados, logrando a la vez eliminar esta fuente de contaminación.

4.1 Pulpa del café

La pulpa de café está compuesta por el epicarpio y parte del mesocarpio del fruto. La misma, cuando es llevada a los depósitos, posee cerca de un 85% de humedad. La pulpa de café contiene -entre otras cosas- cantidades importantes de cafeína la que representa cerca del 0.8% de su peso seco. Investigaciones realizadas por una compañía transnacional indican que, lamentablemente, la extracción de esa cafeína no es rentable. La cafeína de la pulpa de café se degrada muy rápidamente si se permite una fermentación aerobia.

En el beneficio convencional, la pulpa se dispone en algunas partes de las plantaciones de café en grandes montículos donde se dejan varios años hasta su total descomposición. No se saca ningún provecho de ese subproducto. Además, estos montículos pueden producir lixiviados que representan una fuente importante de contaminación de aguas.

4.1.1 Abono orgánico a partir de pulpa

La producción de *compost* de pulpa de café es sin lugar a dudas la forma más sencilla y por lo tanto más asequible que tenemos para disponer racionalmente de este subproducto.

El empleo de abono orgánico posee un buen potencial para atenuar los ataques de nematodos, plaga más importante de la caficultura costarricense.

En los beneficios grandes como los de Costa Rica, la disposición final adecuada de la pulpa requiere de maquinaria grande como son los tractores y camiones para su transporte, demanda igualmente de terrenos suficientemente grandes para el vertido de esa pulpa, para provocarle movimientos periódicos y finalmente para enfardarla y comercializarla.

Para Costa Rica, la conversión de las 350 000 toneladas de pulpa producidas al año supondría una producción aproximada de 87 000 toneladas de *compost*, pudiéndose de esa forma devolver 780 kilogramos de abono orgánico a cada una de las 115 000 hectáreas de café.

No se quiere con esta observación pretender que se deba aplicar abono orgánico en forma generalizada en los cafetales, pero sí es muy usual que existan áreas en muchas fincas cafetaleras donde se hace notorio la necesidad del empleo de abonos orgánicos. Por otra parte, la práctica del empleo de abonos orgánicos podría estar dirigida a actividades más intensivas como son los almácigos de café o cualquier otro vivero así como para ornamentales y hortalizas.

El beneficio de mayor capacidad de Costa Rica -CooproNaranjo R.L.- realiza el composteo de cerca de 20 000 toneladas de pulpa fresca -toda la pulpa que ellos producen-, situación que les permite dar un servicio más a sus asociados cual es el de suministrar ese abono orgánico a bajo costo. Situación similar se da en otros beneficios del sector cooperativizado y del no cooperativizado, donde algunos ven la producción de *compost* no solamente como una forma de disponer adecuadamente un subproducto sino como un negocio en sí mismo.

El composteo de la pulpa de café con lombrices rojas californianas empieza a perfilarse como una importante actividad donde se generan dos valiosos subproductos cuales son la lombriz roja y el *compost*.

Al presente se investiga en sistemas que permitan un mejor manejo de la pulpa y una forma más económica de composteo.

4.1.2 *Pulpa para alimento animal*

La utilización de la pulpa de café ha sido objeto de muchas investigaciones. La pulpa posee contenidos de proteína del orden del 12% (no toda es digestible). Estudios del INCAP y de la Universidad de Costa Rica indican que tal producto puede ser empleado con éxito en las fórmulas

alimenticias para ganado vacuno hasta en un 20% y para ganado aviar, hasta en un 3%. (Graham y Bressani, 1978).

Hasta hace unos 8 años operaba en Costa Rica una importante empresa, Subproductos del Café S.A., cuya función primordial consistía en acopiar la pulpa de café y deshidratarla para ser utilizada posteriormente como alimento animal. Lamentablemente, esta empresa sufrió una quiebra económica. Tenía una capacidad para procesar 40 000 toneladas de pulpa, lo que representa hoy día un 11.4% de la pulpa producida en el país.

4.1.3 Pulpa como combustible

Estudios del ICAFE establecen que la pulpa deshidratada es un muy buen combustible, capaz de proveer hasta 4200 kilocalorías por kilogramo de peso.

Se ha planteado como necesario el prensado de la pulpa por medios mecánicos para retirar parte del 85% de su humedad. Esto permitiría facilitar su secado final para su posterior uso como combustible. Ese prensado previo significa entre otras cosas que se van a generar cantidades muy grandes de licor de prensado, licor que posee un poder de contaminación muy elevado: la DQO entre 60 g.l y 120 g.l, concentraciones 12 a 24 veces mayores que las de las aguas residuales del beneficiado.

El despulpado en seco genera una pulpa más rica y menos húmeda, lo que facilita su secado y su posible uso como combustible. El prensado previo se hace menos necesario. En caso que se realice este prensado, investigaciones realizadas en CICAFFE establecen que la pulpa producto del despulpado en seco libera mucho menos licor que aquella transportada con agua. La posibilidad de secar la pulpa y de quemarla conforme transcurre el beneficiado, sin tener que almacenarla, se presenta cada vez más como una importante opción de ahorro de energía para el secado del café.

4.2 Pergamino

El pergamino del café -endocarpio del fruto- es usado en su totalidad como combustible.

El pergamino es almacenado en silos. De allí, se puede automatizar su transporte hasta horno. La alimentación en esos casos es gobernada

por un termostato ubicado en los ductos de salida del horno. Se transporta por medio de corriente de aire o bien con transportadores helicoidales o vibradores.

Este material representa un excelente complemento para el uso de la leña; aporta 4200 kilocalorías por kilogramo de peso.

4.3 Mucílago del café

El mucílago de café es normalmente fermentado o desprendido mecánicamente para posibilitar el lavado de la semilla. El mucílago se diluye en el agua, que tiene entonces que ser tratada. Las bacterias anaerobias digieren más fácilmente las aguas de lavado que las aguas de despulpado por existir menos taninos en las primeras.

El mucílago de café está compuesto principalmente por azúcares reductores y no reductores así como por sustancias pécticas. La alta dilución de éstas últimas ha imposibilitado su uso hasta el presente. El desmucilaginado mecánico del café y el uso -muy reciente- de muy poca o ninguna agua por parte de algunos beneficiadores costarricenses abre la posibilidad del uso industrial de este subproducto el cual, de otra forma, debe ser neutralizado para ser tratado, produciendo gas metano.

4.4 Algunas limitaciones del manejo de residuos

1. La mayoría de los residuos agrícolas y dentro de ellos los del café, presentan contenidos de humedad muy altos. Esto torna más costoso su transporte y su utilización. Si la intención de aprovechamiento de esos residuos fuera su uso como combustible, la mayor parte de esa humedad debe ser desplazada por métodos mecánicos así como por secado convencional.
2. Muchos de esos residuos son perecederos, por lo que deben ser tratados oportunamente y en forma apropiada para atenuar la presencia de plagas y la aparición de malos olores.
3. La generación de residuos se da en una corta época del año, lo que dificulta la emergencia de empresas especializadas en su tratamiento y aprovechamiento.
4. El *compost* producido a partir de estos desechos es voluminoso y con bajo contenido en nutrientes si se les compara con los fertilizantes inorgánicos. El lugar de la aplicación del desecho debe de estar muy cerca del sitio de producción, de otra forma el transporte haría prohibitivo el empleo de los desechos orgánicos.

5 Logros del Beneficiado Ecológico Alcanzados en Costa Rica

En Costa Rica, los esfuerzos para disminuir la contaminación provocada por el beneficiado empezaron en 1992, con la instauración de un Convenio de Cooperación Interinstitucional coordinado por el Instituto del Café de Costa Rica en su calidad de rector de la caficultura costarricense.

La centralización del beneficiado en nuestro país, donde 95 plantas beneficiadoras procesan 161 000 toneladas de café verde, permite a los órganos fiscalizadores estar presentes y en plena comunicación con los señores beneficiadores, favoreciendo no solamente la supervisión del cumplimiento del Convenio en mención sino también la transferencia de tecnología.

En Costa Rica, durante el último quinquenio se ha producido un promedio anual de 900 000 toneladas de café en fruta por año. La producción de ese café conlleva la generación de 350 000 toneladas de pulpa por año, de 150 000 toneladas de mucilago y de 40 635 toneladas de pergamino o cascarilla.

5.1 Etapas del programa de reducción de la contaminación

El Convenio de Cooperación Interinstitucional plantea un programa a ser realizado en 4 etapas cuya meta más importante es reducir la contaminación generada por esta agroindustria en un 80%. El mismo establece como obligatorias diversas prácticas, las cuales involucran cambios importantes en el proceso de beneficiado -tecnología limpia- así como tratamientos orientados a la remoción de sólidos gruesos y suspendidos, dejando la tarea de la remoción de sólidos disueltos al tratamiento anaerobio.

Las etapas previstas en el Convenio son:

- **Etap 1:** Reducción del uso del agua en el beneficio. Antes de la firma del Convenio se empleaba 15.5 litros de agua por kilogramo de fruta beneficiada estableciéndose como obligatoria la meta de reducir ese consumo a una cuarta parte o sea 3.87 litros por kilogramo de fruta.
- **Etap 2:** Recuperación de sólidos pequeños de las aguas residuales del beneficiado. En esta etapa se estableció como obligatorio el

empleo de tamices finos contruidos en acero inoxidable con alambres de forma trapezoidal los cuales permiten la recuperación de sólidos mayores a 0.75 mm. De grosor. Se establece también como obligatorio en esta etapa la eficiente separación de la pulpa y la disposición final adecuada de la misma.

- **Etapa 3:** Disminución de los sólidos suspendidos, despulpado en seco y transporte no hidráulico. Se inicia la construcción de tanques sedimentadores así como de pequeñas lagunas de lodos para la disposición de los sedimentos, con la meta de disminuir del 50% los sólidos suspendidos en el agua. En esta misma etapa se establece como obligatorio el despulpado en seco de las cerezas (no confundir con beneficiado en seco) así como el transporte no hidráulico de la pulpa.
- **Etapa 4:** Tratamiento anaerobio de las aguas. Se establece como meta la reducción de contaminantes en un 80%, en términos de DQO y de DBO.

5.2 Alcances del programa de reducción

La meta solicitada al sector beneficiador de utilizar tan solo 3.87 litros de agua por kilogramo de fruta beneficiada ha sido superada por algunos beneficiadores líderes ubicándose en el nivel de 1.55 litros por kilogramo de café en fruta.

Se logró que un 74% de los beneficiadores instalaran el despulpado en seco y el transporte no hidráulico de la pulpa. Algunas de las plantas beneficiadoras más grandes opusieron mayor resistencia al despulpado en seco.

Sin embargo, es mucho el trabajo que resta por realizarse en la capacitación de los operadores de las plantas de tratamiento.

Hasta el momento el sector cafetalero ha invertido en el tratamiento de las aguas una suma aproximada a los US\$30 millones.

Se presenta en los cuadros 5-3 y 5-4 los datos fundamentales en torno a la situación del Convenio de Cooperación a diciembre de 1996 (avance ejecutado)

De las etapas anteriores, los cambios en el proceso significaron cerca de un 40% en reducción de la contaminación, lo que valida una vez más el uso de las tecnologías limpias como base de cualquier plan de competitividad que una empresa quiera emprender para el futuro.

Cuadro 5-3. Cumplimiento del tratamiento primario a diciembre de 1996.

Rubro	Ejecución
Recirculación	100%
Tamizado fino (0.75mm)	100%
Tanque sedimentador y laguna de lodos	91%

Cuadro 5-4. Cumplimiento de los cambios en el proceso a diciembre de 1996.

Rubro	Ejecución
Disposición adecuada de la pulpa	100%
Despulpado en seco y transporte no hidráulico de la pulpa	74%

La implementación de las pautas contenidas en la cuarta etapa fue más tardía (tratamiento anaerobio de las aguas). A inicios de 1998, sin embargo, la situación había evolucionado (cuadro 5-5).

Cuadro 5-5. Cumplimiento del tratamiento secundario a inicios de 1998.

Rubro	Ejecución
Lagunas anaerobias	74%
Reactor anaerobio	16%
Reactor aerobio	5%
Lagunas aireadas	5%

Los reactores anaerobios recientemente construidos poseen capacidades entre los 750 y los 1500 metros cúbicos y los mismos han sido diseñados en módulos de 250 m³.

Se prevé al presente utilizar el gas metano generado en reactores anaerobios para la generación de energía eléctrica rubro que posee un gran peso en los costos de beneficiado del café costarricense.

La dificultad en el manejo de las lagunas anaerobias así como el hecho inherente de este tratamiento de generar olores desagradables, la insuficiencia de capacidad de los sistemas aerobios así como la alta demanda de energía eléctrica propia de esos sistemas nos permite establecer que algunos beneficiadores cambiarán sus sistemas de tratamiento por reactores anaerobios dada las ventajas ofrecidas por estos sistemas.

A pesar de los muy importantes esfuerzos realizados en el área de la descontaminación, debe el sector beneficiador prepararse para normas de vertido más estrictas en los años venideros.

Prevedemos para ese momento el empleo de sistemas anaerobios para concentraciones muy altas, complementados de sistemas aireados para el efluente del tratamiento anaerobio cuyas concentraciones se encuentran al presente en cerca de 1.5 g.l de DQO.

6 *Algunos Retos del Beneficiado*

El sector beneficiador debe estar atento para instrumentalizar los cambios que requiera el mercado.

Dentro de esos cambios debe orientarse el beneficiador a la instauración de normas de calidad de su producto así como normas de calidad del ambiente como las previstas en las normas ISO-9000, ISO-14000 y las nuevas normativas que al presente se preparan en el entendido que el incumplimiento de tales normas pueden constituirse en barreras no arancelarias para sus cafés en los mercados destino.

La normalización de prácticas dentro de la actividad beneficiadora permitirá dar un salto cualitativo muy grande entre el empirismo en que ha trabajado esta agroindustria y las necesidades actuales.

Se deberá poner mayor cuidado al uso eficiente de la energía dentro del beneficio así como a los riesgos laborales dentro de sus plantas beneficiadoras.

Nuevas formas de mercadeo deberán ser exploradas para posibilitar a los productores una mayor rentabilidad de su producto.

Bibliografía

- Braham, J.; Bressani, R. 1978. Pulpa de café, composición, tecnología y utilización. Guatemala, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. 152 p.
- CAPRE-GTZ; ITCR-CEQUIATEC; ICAFE. 1997. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales en seis plantas beneficiadoras. Documento interno. 94 p.
- DEGRÉMONT. 1973. Manual técnico del agua. Societé Générale d'Épuration et d'Assainissement. ISBN 84-400-6039-4. 207 p.
- ICAFE-BTG. 1997. Planta de tratamiento anaerobio de aguas residuales del café. Beneficio. San Juanillo de Naranjo. Resultados de monitoreo, cosecha 1996-1997. Documento interno. 30 p.
- Rojas, V.J.; Jiménez, G.; Díaz, W. 1992. Utilización de la broza del café como combustible. San José, C.R., Fundación Tecnológica de Costa Rica, Centro de Investigaciones en Café, Instituto del Café de Costa Rica. 48 p.
- Sánchez, V. *et al.* 1981. Química analítica experimental. Heredia, C.R., Departamento de Química, Universidad Nacional. 482 p.
- Vásquez, R. 1993. Influencia de la recirculación de las aguas de despulpado sobre su calidad. *Noticiero del Café* 76:3-6
- _____.; Rodríguez, A. 1993. Efecto de la concentración del agua sobre la liberación de sólidos disueltos de la pulpa de café. *Noticiero del Café* 77: 2-4.

CAPÍTULO 6

LA ROYA ANARANJADA DEL CAFETO: MITO Y REALIDAD

*Jacques Avelino**, CIRAD-CP-IICA-PROMECAFE

Raoul Muller, ASIC

Albertus Eskes, CIRAD-CP

Rodney Santacreo, IHCAFE (Honduras)

Francisco Holguín, INIFAP

"Esta parte del mundo tendrá que marcar rumbos en los programas de mejoramiento del café. Es apenas justo declarar que de todos los problemas que embargan la atención de los hombres de ciencia consagrados al estudio del café, el peligro permanente de la herrumbre constituye el más serio. Teniendo en cuenta el inminente peligro de invasión de la enfermedad, se deben tomar las medidas preventivas del caso y preparar los planes para combatirla cuando se presente." Wellman, 1952.

1 Del Origen de la Roya Anaranjada hasta su Llegada a América

La roya anaranjada del cafeto fue reportada formalmente por primera vez a principios de 1869 en una plantación de la isla asiática de Ceilán, hoy Sri Lanka. En ese mismo año, el micólogo británico Berkeley describió y nombró el hongo responsable de la enfermedad: *Hemileia vastatrix*.

* CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.

La repentina aparición de la enfermedad y su rápida expansión en una región tan alejada de los centros de origen y de diversificación del cafeto, localizados en África central y África oriental, desataron una gran polémica sobre el origen de ésta. Lo esperado hubiera sido que el hongo se detectara primero en África, pues los centros de origen de un hospedero y sus patógenos suelen coincidir (Leppik, 1970). Esta coexistencia entre la planta y el hongo conduce normalmente a una coevolución de ambos, la cual se traduce por la expresión de una gran variabilidad genética en cuanto a la resistencia de la planta hacia el hongo y en cuanto a la virulencia del hongo hacia la planta.

Ahora bien, las especies de Ceilán e India, *Psilanthus bengalensis*, *P. wightiana* y *P. travencorensis* son altamente susceptibles a la enfermedad, lo que comprueba que ésta es de un origen ajeno a esos lugares. La hipótesis más verosímil es que la roya anaranjada fue introducida a Ceilán desde África en forma accidental a través de plantas infectadas, como lo sugiere Butler (1918). Al llegar a Ceilán, la enfermedad encontró condiciones propicias para su desarrollo, tanto de clima como de susceptibilidad de las variedades, y originó epidemias nunca vistas anteriormente. Al contrario, la gran diversidad en cuanto a la resistencia del cafeto hacia la roya anaranjada observada especialmente en los cafetales silvestres de Etiopía demuestra que el origen de la enfermedad es efectivamente África. En realidad, el primer reporte sobre el hongo pudo haber sido hecho antes del famoso capítulo de Ceilán, en 1861 por un explorador británico, el cual notó la enfermedad sobre cafetos que se encontraban al estado silvestre en la región del lago Victoria, en África del Este (Wellman, 1952). En esta zona, las especies de café más susceptibles eran naturalmente raras, lo que explica que durante muchos años el hongo pudiera pasar prácticamente inadvertido (Saccas y Charpentier, 1971).

Antes de la llegada de la roya anaranjada, Ceilán era el primer productor mundial de café. La roya anaranjada causó estragos en la isla. Saccas y Charpentier (1971) mencionan que las exportaciones de café que habían alcanzado 41 855 t en 1879 bajaron a 9000 t en 1884 y 2300 t en 1893 bajo la presión de la enfermedad. El cultivo del café se volvió imposible y fue cambiado paulatinamente por el cultivo del té, teniendo esto consecuencias hasta en los hábitos del pueblo británico, el cual consumía café y no té hasta esas fechas (Rayner, 1972). A partir de Ceilán, la roya anaranjada del cafeto se dispersó rápidamente a toda Asia. Paralelamente fue detectándose en todos los países de África oriental. Sin embargo, la enfermedad tardó bastante en llegar a África occidental. En 1960, algunos países de estas regiones todavía estaban libres del hongo. En Angola, por ejemplo, la

roya anaranjada se detectó en 1966 solamente. Eskes (1989) explica esta situación por la poca adaptabilidad al *C. arabica* de las razas de roya anaranjada procedentes de África central, las cuales no tienen el gen de virulencia v5 necesario para lograr una reacción compatible con el *C. arabica*, como se verá más adelante. La llegada tardía de la enfermedad a África del Oeste puede explicar que la roya anaranjada no se conociera en América sino hasta 1970, pues es compatible con la hipótesis de Bowden y sus colaboradores (1971), los cuales sugirieron que las uredosporas del hongo fueron transportadas por los vientos alisios desde África del Oeste hasta Brasil. Waller (1972), sin embargo, es de la opinión que la enfermedad fue introducida accidentalmente a través de material vegetal o de ropas contaminados. Posteriormente a su llegada a Brasil, en menos de veinte años, la roya anaranjada se hizo presente en todos los países latinoamericanos productores de café (figura 6-1).

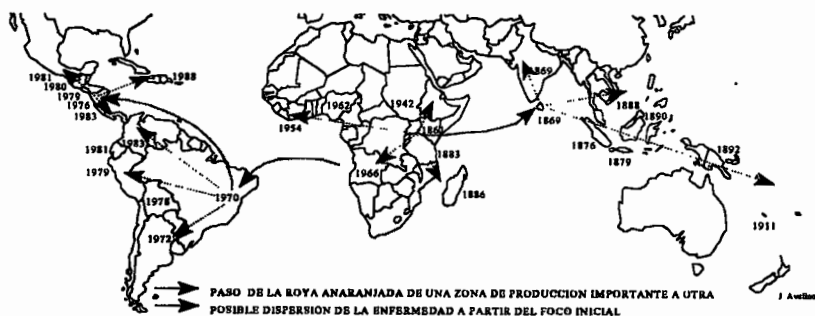


Figura 6-1. La dispersión de la roya anaranjada en el mundo y su fecha de detección.

Fuentes: Según información de Chaves *et al*, 1970; Saccas y Charpentier, 1971; y Kushalappa, 1989a.

2 La Roya Anaranjada Está en América

La experiencia de Ceilán era clara en cuanto a las pérdidas potenciales que podría causar la roya anaranjada, o sea las pérdidas ocasionadas por la enfermedad sin ningún control: éstas consistían en la desaparición

total del cultivo (Zadoks y Schein, 1979). Eso explica el temor que estreñeció a los países productores de Latinoamérica, cuyas economías para muchos de ellos dependían y dependen todavía en gran medida del café, cuando se supo en 1970 que la roya anaranjada había sido reportada en Brasil. De hecho, este temor era en parte justificado ya que todas las variedades cultivadas en América Latina eran susceptibles a la roya anaranjada, como en Ceilán. Era olvidar sin embargo que el episodio de la isla asiática había sido agravado por las condiciones climáticas del lugar desfavorables para el cultivo del cafeto (Muller, 1980) y que por el contrario, la gran variedad de climas y altitudes existentes en América Latina no iba a permitir un desarrollo de la enfermedad tan importante y uniforme como el que se había visto en Ceilán. Además, el caldo bordelés, primer fungicida de uso común, no fue conocido como tal sino hasta 1885 en Francia (Viennot-Bourgin, 1985), o sea 16 años después de la detección de la roya anaranjada en Ceilán, años durante los cuales no se dispuso de ningún tipo de control químico contra la enfermedad. Al contrario, cuando la roya anaranjada llegó a América se tenían ya métodos de control comprobados tanto en Asia como en África.

Cuando Arnaldo Gomes Medeiros detectó la roya anaranjada del cafeto por primera vez en Brasil en enero de 1970, cerca de la ciudad de Ubaitaba en el estado de Bahía, las autoridades brasileñas emprendieron una prospección a gran escala, la cual permitió averiguar que la enfermedad estaba diseminada en los estados de Bahía, Espíritu Santo y Minas Gerais cubriendo un territorio de 500 000 ha (Muller, 1971). Las primeras reacciones brasileñas fueron de tratar de erradicar la enfermedad y evitar que ésta pasara al estado de Sao Paulo donde se producía café a escala industrial, apoyándose para eso sobre las experiencias de Papuasía Nueva Guinea donde se habían logrado tres erradicaciones, aunque solamente temporales, en 1892, 1903 y 1965 (Shaw, 1968), hasta 1986 cuando la enfermedad se estableció definitivamente. Entre las medidas más importantes que decidieron tomar los brasileños, se acordó eliminar todos los focos de la enfermedad y los cafetales abandonados y/o aislados en los municipios donde se detectaron los focos, rastrear la enfermedad en los municipios colindantes, crear una barrera fitosanitaria de unos 385 km de largo y 50 km de ancho entre Rio de Janeiro y Belo Horizonte donde todos los cafetales serían erradicados y a través de la cual el tránsito de cafetos, de café y de cualquier cosa que hubiera estado en contacto con café, sería prohibido, y por último desarrollar un amplia campaña de información. Afortunadamente, estas medidas no fueron aplicadas en su totalidad, pues al poco tiempo se detectó un foco en el estado de Minas Gerais más allá de la barrera fitosanitaria (Muller, 1971).

Dos razones principales conducen a pensar que la erradicación hubiera fracasado de cualquier forma. La primera es que, al contrario del caso de Papuasía Nueva Guinea, la enfermedad ocupaba una gran extensión cuando la detectaron por primera vez, posiblemente porque ésta tenía ya varios años de estar presente en Brasil (Wellman, 1970; Muller, 1971). Hay que recordar que en el estado de Bahía las preocupaciones de las autoridades como la de los agricultores giraban alrededor del cultivo del cacao. El café no era más que un cultivo marginal que recibía pocas atenciones. Bajo estas condiciones, es fácil entender que la roya anaranjada pudo pasar desapercibida por varios años. Es probable que ningún intento de erradicación en aquellos momentos hubiera podido acabar con todos los focos de la enfermedad. La segunda razón reside en la forma de diseminación de la roya anaranjada, la cual es posible a través del viento. El caso de Papuasía Nueva Guinea por formar parte de una isla presentaba las condiciones de aislamiento necesarias al logro de la erradicación, no así en el caso de Brasil, dónde las zonas productoras de café son frecuentemente adyacentes y las fuentes de contaminación, por lo mismo, múltiples. Brasil aceptó rápidamente que la roya anaranjada no podía erradicarse y optó mejor por estudiar la enfermedad y buscar las formas de combatirla (Muller, 1971).

Extrañamente, Nicaragua fue el segundo país productor de importancia en América Latina en verse afectado por la roya anaranjada. El primer brote fue detectado en noviembre de 1976 entre San Marcos y Masatepe, sobre la costa del Pacífico. En diciembre de 1976, varios focos fueron identificados cubriendo un área de 2100 hectáreas. Al igual que Brasil, y a pesar de lo que había sucedido en ese país, se acordó entonces desarrollar un plan de erradicación de la enfermedad, el cual contemplaba la eliminación de los focos incluyendo un margen de seguridad de 20 a 30 m alrededor de éstos mediante el uso de herbicidas, la aspersión de tratamientos curativos en las zonas adyacentes a los focos, la aspersión de tratamientos preventivos alrededor de estas últimas zonas y el establecimiento de medidas cuarentenarias estrictas con el apoyo de las fuerzas de seguridad del país (Schuppener *et al.*, 1977). Este plan desde luego tenía mayores probabilidades de éxito que el de Brasil ya que el área infectada era relativamente pequeña. Sin embargo, aunque sí se tuvieron resultados alentadores en el primer año de la aplicación del programa de erradicación, este último se suspendió en 1979, pues para ese año la enfermedad estaba distribuida ampliamente en el país (Kushalappa, 1989c).

La llegada de la enfermedad a Nicaragua provocó un sinnúmero de acciones preventivas, generalmente costosas, en los países vecinos. Entre

ellas, se puede mencionar la formación de cuadrillas de inspección, las cuales recorrieron durante semanas y a veces meses las áreas cafetaleras con la esperanza poco realista de encontrar la primera lesión de la enfermedad y tomar medidas de erradicación y/o control inmediatas.

Afortunadamente, los países del área centroamericana pronto reaccionaron ante la presencia de la roya anaranjada a través de la creación del proyecto PROMECAFE en 1978, en aquel entonces denominado Programa Regional para la Protección y Modernización de la Caficultura en Centroamérica y Panamá. La creación de este proyecto marcó el inicio de un cambio en las mentalidades. Se empezó a pensar que el aumento de la productividad y de la rentabilidad era necesario para darse los medios de combatir la enfermedad considerada como establecida definitivamente en el área, y que la problemática, común a toda una región, podía resolverse a través de la investigación, de la transferencia de tecnología y la capacitación. La roya anaranjada desde este punto de vista fue un estímulo para la investigación cafetalera en el ámbito centroamericano, la cual mejoró notablemente a partir de la introducción de la enfermedad.

Paulatinamente, todos los países del área centroamericana fueron afectados por la roya anaranjada (1979, El Salvador; 1980, Honduras y Guatemala; 1981, Chiapas, México; 1983, Costa Rica). En México, se dio uno de los últimos intentos de erradicar la enfermedad, a través de la quema de los primeros cafetales afectados y de la aplicación de fungicidas, tanto preventivos como curativos, en las zonas aledañas a los focos, con el fin de evitar que la enfermedad se extendiera a las diferentes zonas cafetaleras del país (Gutiérrez y Carreón, 1982). Lamentablemente, para 1986, los cuatro principales estados productores de café en México, Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Puebla, estaban afectados por la roya anaranjada (Holguín, 1987a).

No se puede negar que las medidas cuarentenarias tomadas frenaron probablemente la expansión de la enfermedad, lo que permitió que el productor de las zonas no afectadas tuviera más tiempo para prepararse ante su llegada. Sin embargo, tampoco se puede refutar que los intentos de erradicación fueron costosos y no alcanzaron su objetivo principal: la desaparición de la enfermedad. El afán por deshacerse de la roya anaranjada demuestra que, a pesar de las advertencias (Wellman, 1952), el continente latinoamericano, y especialmente Centroamérica, estaba bastante desprevenido y finalmente mal informado. Esto debe de servir de lección para el futuro, ante la llegada posible de otras plagas y enfermedades como lo son el CBD (Coffee Berry Disease), provocado por *Colletotrichum kahawae*, y la traqueomicosis causada por *Fusarium xylarioides*.

La capacitación inmediata de especialistas en estos problemas así como el establecimiento de trabajos de investigación preventivos, especialmente en mejoramiento genético, con las alianzas internacionales adecuadas que permitan probar los materiales vegetales en presencia de los patógenos mencionados, son acciones de evidente importancia para la región.

3 *El Agente Responsable: Taxonomía, Hospederos y Síntomas*

Como ya se mencionó, la roya anaranjada del cafeto es causada por un hongo, *H. vastatrix*. El género *Hemileia* presenta sólo ocasionalmente teliosporas y basidiosporas. La principal forma de multiplicación del hongo es la uredospora. Esta es reniforme, equinulada sobre su mitad superior y lisa ventralmente, característica que le dio su nombre al género, el cual significa "mitad-liso". El hongo se clasifica como sigue:

Clase: *Basidiomycetes*

Subclase: *Teliomycetidae*

Orden: *Uredinales*

Familia: *Pucciniaceae*

Género: *Hemileia*

Especie: *vastatrix*

La roya anaranjada es un parásito obligado que afecta las hojas (vivas) de las especies del género *Coffea* incluyendo la sección de los *Paracoffea* que contiene el género *Psilanthus*. De las especies cultivadas, *C. arabica* es el más atacado. Los primeros síntomas de la enfermedad aparecen en la cara inferior de las hojas, por donde penetra el hongo. Estos consisten en pequeñas lesiones amarillentas que con el tiempo se vuelven coalescentes (foto 6-1) y producen las uredosporas (foto 6-2) con su color anaranjado característico. En la cara superior de las hojas se divisan manchas cloróticas (foto 6-3). Finalmente, las lesiones se vuelven necróticas (foto 6-4).

No se ha reportado ningún hospedero alternativo de la roya anaranjada. Sin embargo, el hecho que las basidiosporas sí germinen sobre el cafeto pero no logren infectarlo indica que el hongo probablemente necesita otro hospedero para completar su ciclo, por lo cual se considera que la roya anaranjada es heteroica.



Foto 6-1. Múltiples lesiones coalescentes de roya anaranjada en el envés de la hoja (J. Avelino).



Foto 6-2. Lesiones esporulantes de roya anaranjada en el envés de la hoja (J. Avelino).



Foto 6-3. Manchas cloróticas causadas por la roya anaranjada en el haz de la hoja (D.Bieysse).



Foto 6-4. Lesión necrosada de roya anaranjada en el envés de la hoja (J.Avelino).

4 El Ciclo de Base de la Enfermedad (Figura 6-2)

La diseminación podría constituir la primera etapa del ciclo, la cual se divide en una fase de liberación, en la que la uredospora se despega del esporóforo, una fase de dispersión, y otra de depositación de la espora sobre la hoja. La germinación constituye la siguiente etapa. Esta marca el inicio del proceso infeccioso en un sentido amplio. La infección en sí todavía no está realmente establecida ya que el hongo se desarrolla a partir de sus propias reservas únicamente. La penetración del hongo por las estomas de la hoja constituye el inicio de la tercera etapa en la cual, por primera vez, se establecen relaciones tróficas entre el hongo y el hospedero, dando así comienzo a la infección en un sentido estricto. La colonización de la hoja por las hifas lleva a la formación de los primeros síntomas visuales. El período comprendido entre el inicio de la germinación y la expresión de los primeros síntomas (lesiones amarillentas) constituye el período de incubación, el cual tiene poca importancia del punto de vista epidemiológico, ya que en esta etapa todavía no se ha producido ninguna entidad infecciosa nueva. La emergencia posterior del esporóforo y la producción de nuevas uredosporas infecciosas constituyen la etapa de la esporulación. El tiempo transcurrido entre el inicio de la germinación y la esporulación, el período de latencia, representa por lo mismo la variable de mayor importancia: cuanto más corto sea éste, más rápido podrá repetirse el ciclo y más grave será la epidemia.

La roya anaranjada invadió los países centroamericanos recientemente. Por lo mismo, gran parte de los conocimientos sobre el ciclo de base de la enfermedad se generaron en Asia, África y Brasil. Lo que sigue intenta resumir estos conocimientos.

4.1 Estado libre del hongo: diseminación y germinación (figura 6-3)

Es admitido generalmente que la liberación de las uredosporas solamente es posible en presencia de agua líquida (Nutman *et al.*, 1960), aunque Rayner (1961a y b) es de la opinión que el viento por sí solo tiene la capacidad de liberarlas. Las salpicaduras provocadas por la lluvia pueden intervenir en la liberación de las uredosporas por mojadura de las lesiones (Nutman y Roberts, 1963), aunque las solas vibraciones causadas por los impactos de las gotas sobre las hojas también podrían tener este

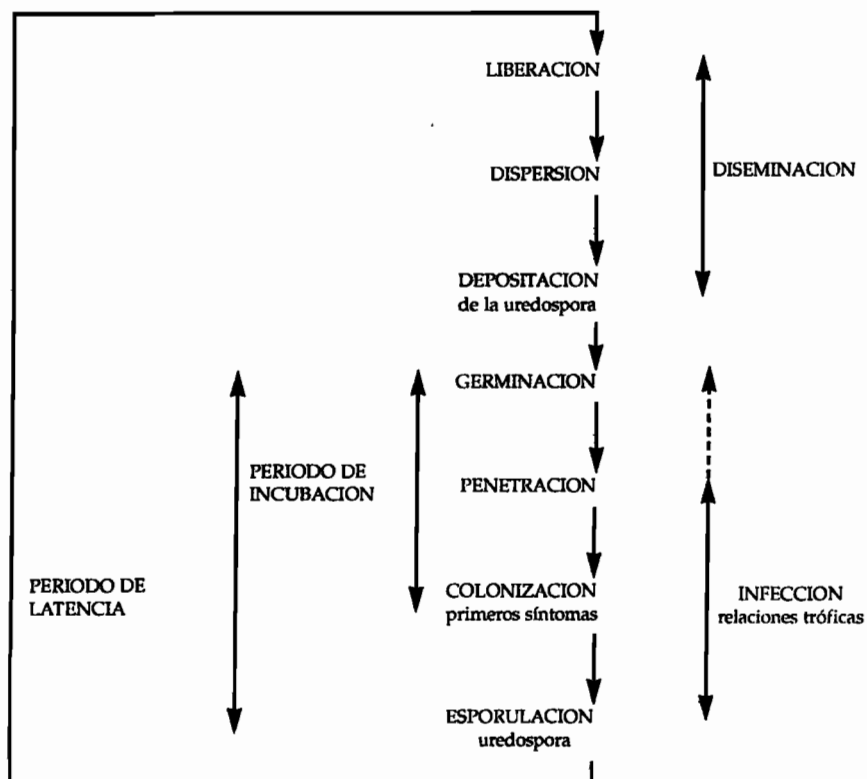


Figura 6-2. El ciclo de base de la roya anaranjada.

efecto (Rayner, 1961a). Bock (1962), Nutman y Roberts (1963) estimaron que una lluvia de 0.3 pulgada (0.8 mm) es suficiente para que la liberación se lleve a cabo. Kushalappa y sus colaboradores consideraron una cantidad de 1 mm (Kushalappa *et al.*, 1983). Guzmán y Gómez (1987), sin embargo, encontraron que una lluvia de 5 mm es necesaria para que el agua acumulada sobre la cara superior de la hoja rebalse, pase a la cara inferior y tenga la posibilidad de despegar directamente las uredosporas adheridas al esporóforo. Una vez despegadas, éstas pueden viajar de diferentes formas: a pequeñas distancias a través de las salpicaduras provocadas por la lluvia (Nutman *et al.*, 1960; Rayner, 1961a y b; Bock, 1962; Nutman y Roberts, 1963), a pequeñas y medianas distancias por los

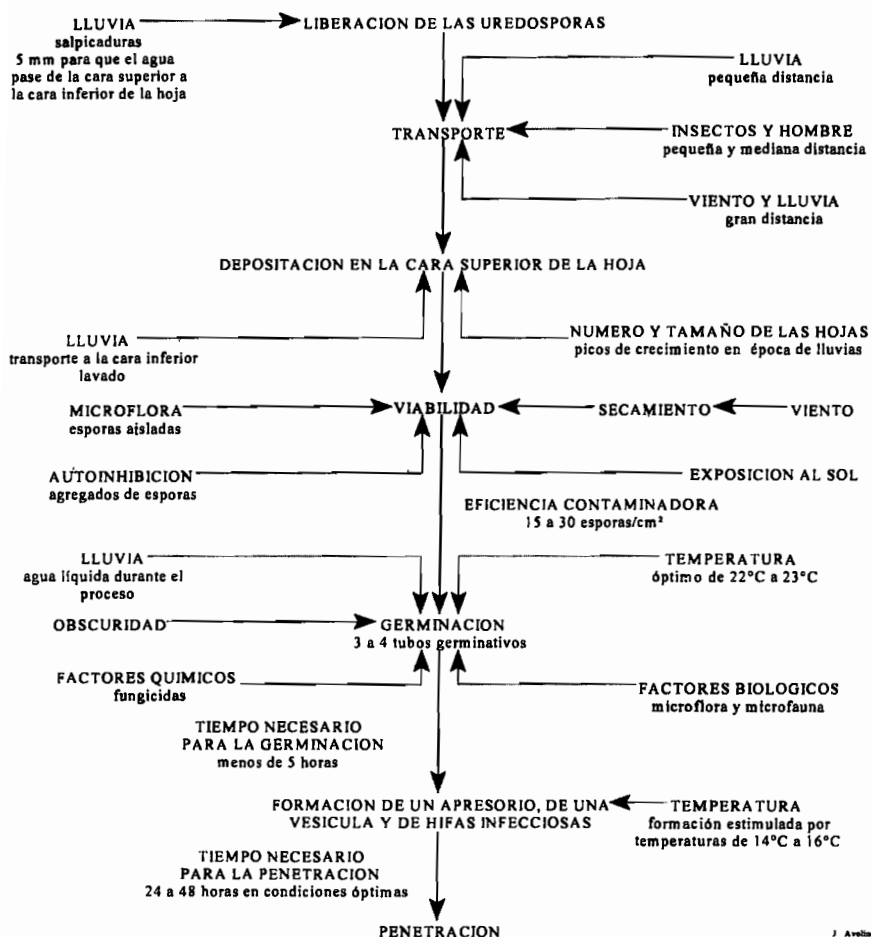


Figura 6-3. Estado libre del hongo: diseminación y germinación.

insectos (Crowe, 1963; Amante *et al.*, 1971) y los hombres (Waller, 1972; Kushalappa, 1989b), a medianas y grandes distancias por el viento (Bowden *et al.*, 1971).

Durante la época de lluvias, es cuando se presentan los picos de crecimiento vegetativo del cafeto (Barros y Maestri, 1974; Vasudeva y Gopal, 1975). La probabilidad para que una espora alcance una hoja es elevada. La cara superior de las hojas es normalmente alcanzada. Las lluvias intervienen de nuevo transportando las esporas hacia la cara inferior de las hojas (Rayner, 1961a y b; Bock, 1962; Nutman y Roberts, 1963), aunque si las lluvias son muy violentas, éstas pueden eliminar las esporas por lavado (Kushalappa, 1989b).

Durante el transporte por el viento, la viabilidad de las uredosporas puede verse afectada por el secamiento y las bajas temperaturas (Kushalappa, 1989b) y después de la depositación por una mojadura insuficiente para completar la germinación (Bock, 1962; Nutman y Roberts, 1963) o una exposición prolongada a los rayos de sol (Kushalappa, 1989b). La eficiencia contaminadora óptima es alcanzada cuando se tienen de 15 a 30 esporas por cm² (Bock, 1962). Cuando las esporas están demasiado dispersas, no se logra la infección (Bock, 1962; Nutman y Roberts, 1963). La microflora también podría eliminarlas más fácilmente (Kushalappa, 1989b). Cuando las esporas forman agregados, ocurren problemas de autoinhibición que afectan su viabilidad (Nutman y Roberts, 1963; Musumeci *et al.*, 1974).

La germinación es seguramente la etapa del ciclo de base que fue mejor estudiada. Las condiciones óptimas son bien conocidas: temperatura de 22°C (Nutman y Roberts, 1963) a 23°C (Akutsu, 1981), obscuridad (Rayner, 1961b; Nutman y Roberts, 1963), agua líquida durante todo el proceso hasta la penetración (Rayner, 1961b, Nutman y Roberts, 1963; Kushalappa *et al.*, 1983). Aunque la germinación puede lograrse en menos de 5 horas (Rayner, 1961b; Nutman y Roberts, 1963), con menos de 6 horas de agua líquida, la penetración no ocurre (Kushalappa *et al.*, 1983). Una duración de agua líquida de entre 24 y 48 horas, es la condición óptima para que dicha penetración se logre (Kushalappa *et al.*, 1983). La germinación ocurre con mayor frecuencia de noche (Rayner, 1961b), aunque también podría realizarse de día en cafetales cultivados bajo sombra y/o con un auto-sombreamiento importante (Nutman y Roberts, 1963).

La formación de un apresorio sobre el estoma parece necesaria para que se realice la penetración. Temperaturas frescas entre 14°C y 16°C son favorables a esta formación (De Jong *et al.*, 1987).

4.2 Relaciones tróficas entre el hongo y la planta: infección (figura 6-4)

La penetración del hongo se efectúa por un estoma bien formado. Lo anterior permite explicar que las hojas muy jóvenes cuya maduración de los estomas es incompleta son menos receptivas que las hojas adultas (Kushalappa, 1989b). Al contrario, algunos factores de estrés como una fuerte intensidad luminosa antes de la depositación (acompañada de una fuerte temperatura) (Eskes, 1982a) o una fuerte carga fructífera (Eskes y Souza, 1981) aumentan la receptividad de las hojas. Chalfoun y sus colaboradores (1987) explicaron el aumento de la receptividad del cafeto a la roya anaranjada, cuando éste está en producción, por una migración de compuestos fenólicos, sustancias que intervienen en los mecanismos de defensa de las plantas, de las hojas hacia los frutos, desprotegiendo las primeras al favor de los segundos.

Después de la penetración se establecen las relaciones tróficas entre el hongo y la planta. Las resistencias genéticas, el potencial hídrico del suelo, la humedad relativa (Hoogstraten *et al.*, 1983) y la temperatura de la hoja (Ribeiro *et al.*, 1979) la cual, al sol, puede superar en 10°C o más la temperatura del aire (Butler, 1977), son factores que actúan sobre la colonización de la hoja por el hongo.

Mc Cain y Hennen (1984) han descrito con precisión las diferentes etapas que siguen la penetración. Se forman hifas intercelulares, pioneras primero, y posteriormente alimenticias y colonizadoras. De las hifas nacen haustorios intracelulares, los cuales extraen de las células invadidas los elementos necesarios al crecimiento del hongo. Lo anterior conduce a la aparición de los primeros síntomas (un leve amarillamiento entre la segunda y tercera semana después de la germinación en condiciones óptimas). Unas cuantas hifas invaden posteriormente una cámara subestomática y producen un agregado de células esporógenas o protosoro. Algunas de ellas emergen por la apertura del estoma y producen un esporóforo. El diámetro del ostiolo condiciona el número de células emergidas. Cada agregado producido a nivel de un estoma constituye un soro o pústula. Mc Cain y Hennen estimaron que una lesión es constituida por 15 000 a 50 000 soros, los que podrían producir de 300 000 a 2 000 000 de esporas. Rayner (1972), por su lado evidenció que una lesión puede producir más de 400 000 esporas en 3 meses. Las uredosporas más viejas se encuentran en el centro de la lesión, cerca del punto de penetración, pero las esporas más jóvenes se encuentran sobre toda el área de la lesión puesto que los esporóforos producen uredosporas en forma continua, hasta agotamiento del sustrato y necrosis. En función de las condiciones climáticas, el período de latencia varía en general entre 3 semanas y 3 meses.

La longevidad de una lesión puede alcanzar de 4 a 5 meses (período contagioso). Esta depende por supuesto de la duración de vida de las hojas. Se considera que una hoja puede vivir desde unas cuantas semanas hasta más de un año dependiendo de la época del año en la que nació (Vasudeva y Gopal, 1975). La muerte de una hoja es acelerada por la presencia de la roya anaranjada, pero el lapso de tiempo separando la infección y la caída de la hoja es muy variable.

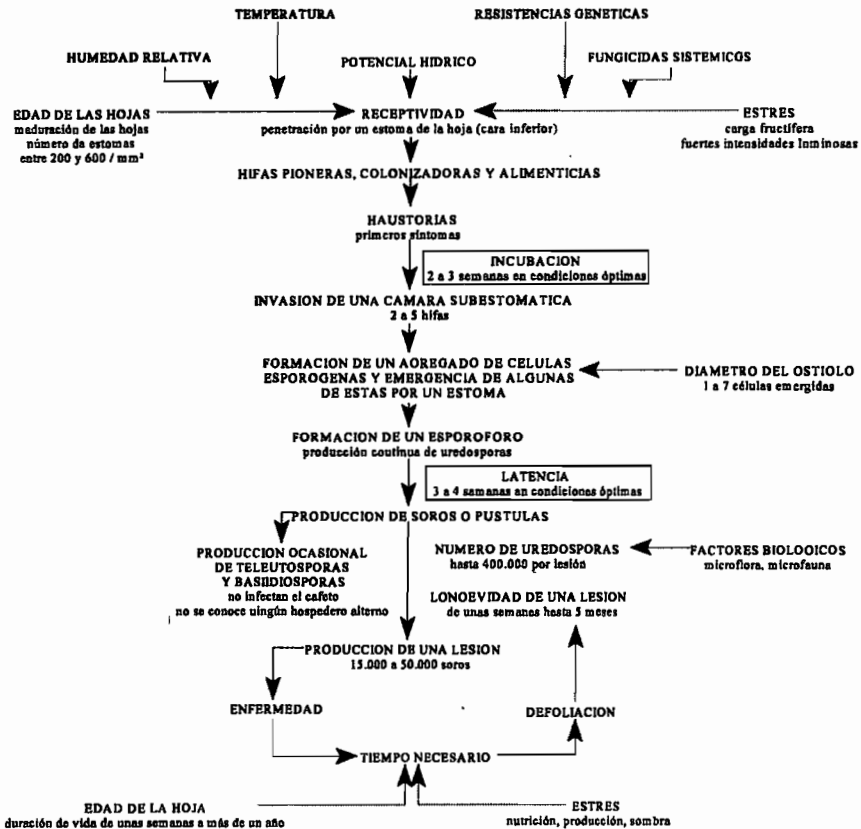


Figura 6-4. Relaciones tróficas entre el hongo y el café.

5 Esquema General de la Epidemia de Roya Anaranjada (figura 6-5)

El inóculo primario es el inóculo responsable del desarrollo inicial de la epidemia. La mayor fuente de inóculo primario es el inóculo residual (Mayne, 1930), inóculo constituido por las lesiones necrosadas y/o latentes llevadas por las hojas del cafeto que sobrevivieron después de la época seca (Muthappa, 1980). La cantidad de inóculo residual depende por lo tanto de la intensidad de la defoliación. Esta se ve acentuada por una serie de factores de estrés como una fuerte producción, un desequilibrio nutricional, una fuerte exposición al sol, un bajo potencial hídrico del suelo y un período seco muy largo. Algunas prácticas culturales como las podas de tejido disminuyen también la cantidad de inóculo al eliminar las hojas enfermas. Paradójicamente, las aplicaciones de fungicidas pueden aumentar la cantidad de inóculo residual porque prolongan la vida de las hojas (Nutman y Roberts, 1962).

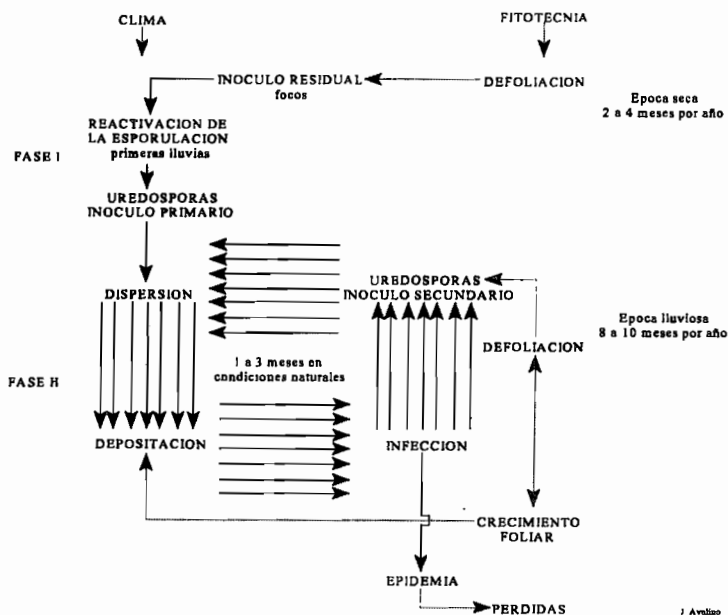


Figura 6-5. Esquema general de la epidemia de roya anaranjada.

Los factores que acentúan la defoliación durante la época seca son de intensidad variable en una misma plantación: la sombra siempre es irregular, la fertilidad del suelo es heterogénea, la producción varía en función del manejo o de la edad de la planta. Por lo mismo, pueden formarse focos de inóculo residual más o menos numerosos y dispersos (Mayne, 1939).

Las primeras lluvias reactivan la esporulación sobre las lesiones necrosadas y/o latentes y se forma el inóculo primario (Muthappa, 1980; Muller, 1980) (foto 6-5). Este sería posiblemente el momento más oportuno para la aplicación de fungicidas curativos, pues se estaría afectando directamente la fuente de inóculo que origina la epidemia. Lo anterior parece haber sido explotado tanto en Brasil como en Venezuela donde los programas de control empezando con un sistémico curativo, seguido de una o dos aspersiones protectoras de cúpricos tuvieron la misma eficacia que 4 o 5 aplicaciones cúpricas (respectivamente Mansk *et al.*, 1978; Silva-Acuña, 1990).

La segunda fase consiste en la repetición del ciclo de base, o policiclo, y la formación del inóculo secundario, cuya cantidad puede verse reducida por la defoliación natural del cafeto y la defoliación causada por la misma enfermedad. La mayor parte de los factores que actúan sobre esta fase han sido estudiados detalladamente en la región centroamericana y están descritos en el siguiente párrafo.



Foto 6-5. Reactivación de la esporulación a partir de una lesión necrosada: formación del inóculo primario (J.Avelino).

6 *La Roya Anaranjada del Cafeto en América Central y el Sur de México*

La mayoría de los estudios que se llevaron a cabo en la región mesoamericana sobre la roya anaranjada fue de tipo epidemiológico. Gran parte de la información que se generó vino a corroborar lo que se había visto anteriormente en otros países. Los resultados obtenidos sirvieron para definir una estrategia de control de la enfermedad.

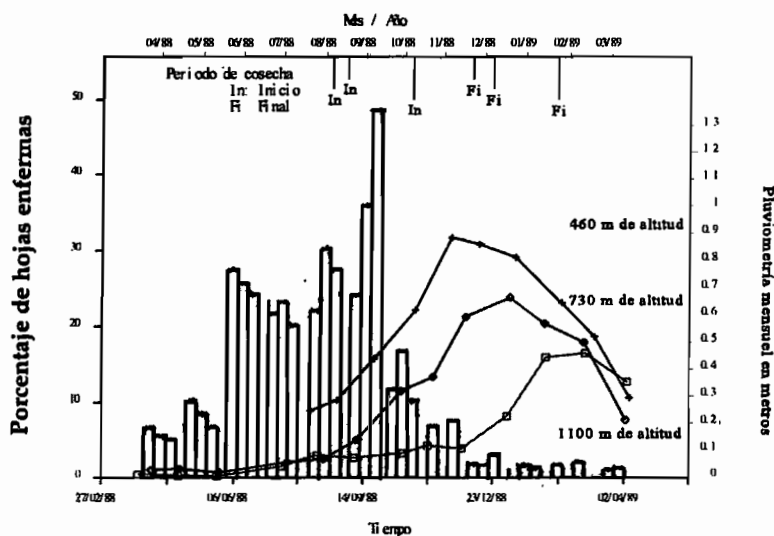
6.1 *Epidemiología*

6.1.1 *Curva de progreso de la enfermedad a escala de la parcela (figura 6-6)*

Como en los demás países de influencia tropical, donde existe una sola época de lluvias, se describieron cuatro fases anuales en el desarrollo de la epidemia: una primera fase de desarrollo lento, generalmente observada entre mayo y agosto, seguida de una fase de crecimiento acelerado entre agosto y diciembre, hasta llegar al máximo de infección (tercera fase) y finalmente una fase de descenso (Gálvez *et al.*, 1982; Santacreo, Reyes y Oseguera, 1983; Holguín, 1985; Avelino *et al.*, 1991). Las diferentes investigaciones que se llevaron a cabo mostraron que tanto el desarrollo como el amplitud de la curva de progreso de la enfermedad estaban relacionados con cinco factores principales: la lluvia, la temperatura, la carga fructífera, la época de cosecha, y el inóculo residual.

6.1.1.1 *La lluvia (figura 6-6)*

Como ya se explicó anteriormente, el agua líquida actúa a nivel de la germinación de las uredosporas y su transporte hasta la depositación sobre la hoja. Esto explica que la epifitía se desarrolle durante la época de lluvias y que su descenso se observe cuando el período de lluvias se detiene (Gálvez *et al.*, 1982; Santacreo, Reyes y Oseguera, 1983; Holguín, 1985). Lo anterior permite también entender que en las zonas con pluvio-metría baja, la roya anaranjada no alcance niveles elevados. La conclusión a la que se llegó es evidente: los calendarios de control químico de la enfermedad tienen que empezar con las primeras lluvias.



de latencia más cortos ocurrieron en los meses de julio, agosto y septiembre aduciendo que las condiciones de clima y especialmente de temperatura de estos meses (entre 18.8°C y 27.7°C) fueron favorables a la enfermedad. Lo anterior explica que los máximos de infección y la forma de la curva de progreso de la epidemia varíen en función de la altitud. En México, en el período de marzo de 1988 a abril de 1989 se observó que a mayor altitud los niveles de infección alcanzados eran menores (Avelino *et al.*, 1991). A 1100 m de altitud, se obtuvo una infección máxima de 16% de hojas jóvenes enfermas, a 730 m el porcentaje fue de 24%, mientras que a 460 m se alcanzó un porcentaje de 32% (figura 6-6). La precocidad de los ataques también siguió la misma tendencia. A 460 m de altitud se necesitaron 206 días, a partir del inicio del estudio, para llegar al 50% del desarrollo de la epidemia (mes de octubre), a 730 m se necesitaron 223 días (noviembre), mientras que a 1100 m de altitud, 305 días fueron necesarios (enero). La conclusión principal de estos trabajos fue que el control de la enfermedad era menos necesario en zonas altas, y en todo caso que éste podía iniciar más tardíamente a esas altitudes debido al retraso en el desarrollo de la epidemia.

6.1.1.3 La carga fructífera

La receptividad de las hojas a la roya anaranjada varía en función de su carga fructífera. Esto fue corroborado en Guatemala, donde se obtuvo una relación positiva muy significativa, al nivel de probabilidad del 0.01%, entre la carga fructífera del cafeto, la cual fue evaluada en junio después de la caída fisiológica de los frutos, y la infección posterior que éste sufrió (Avelino *et al.*, 1993) (figura 6-7). Un 50% de la variabilidad de infección observada fue atribuida al efecto de la carga fructífera. Lo anterior permite explicar las observaciones hechas tanto en México (Holguín, 1987b), como en El Salvador (Moreno de Alas, 1990) y Guatemala (Avelino *et al.*, 1993) donde se indicó que la epidemia de roya anaranjada tenía un ritmo bienal (figura 6-8) paralelo al ritmo bienal de la producción. El paralelismo observado entre infección y producción, en ocasiones puede conducir a subestimar el efecto de la enfermedad, pues después de un año de mucha cosecha, siempre se espera un año de baja producción, con o sin roya anaranjada (Avelino *et al.*, 1993). Más adelante, se verá, sin embargo que la enfermedad sí causa pérdidas, y que el control es necesario, aunque éste no sea tan útil en las fases menos productivas del cafeto, especialmente en el caso de plantas recién sembradas o recién recepadas. También se sugirió que la nutrición mineral podría tener un papel deter-

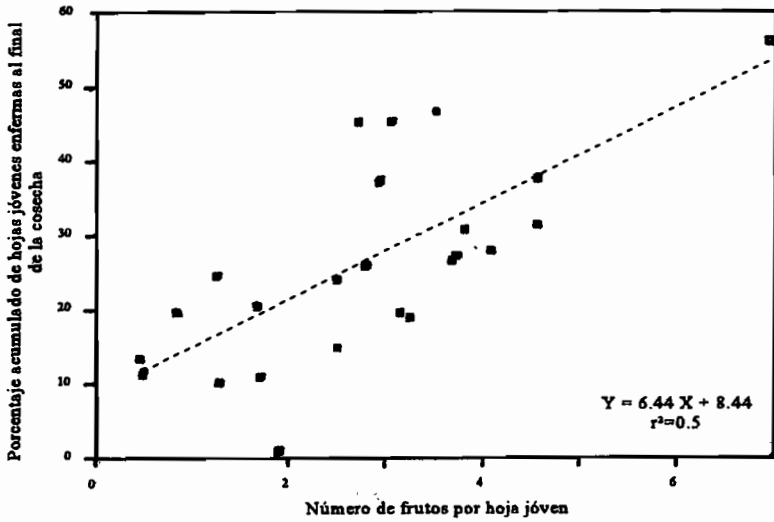


Figura 6-7. Efecto de la carga fructífera sobre la roya anaranjada.
Fuente: Según datos de Avelino *et. al.*, 1993.

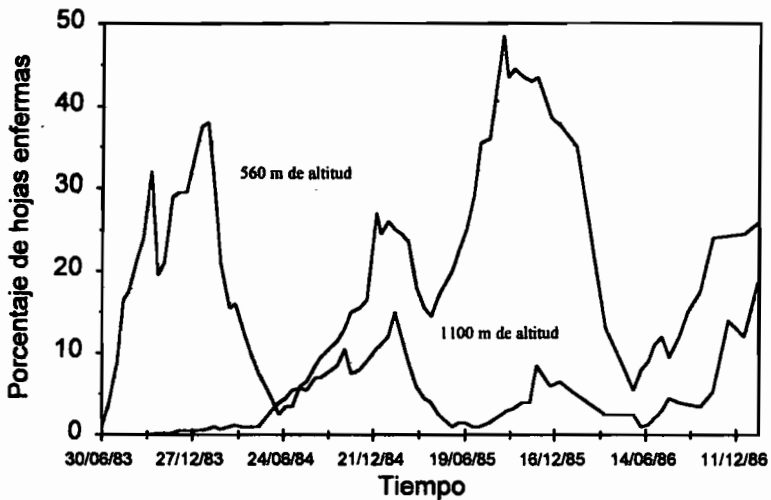


Figura 6-8. Fluctuación bienal de la epidemia de roya anaranjada en dos fincas del sureste de México.
Fuente: Según Holguín, 1987b.

minante para combatir la epidemia, pues no se puede negar que las plantas con una gran carga fructífera sufren un estrés nutricional importante, el cual posiblemente contribuya al aumento de la receptividad de las hojas. Este desequilibrio sería benéficamente corregido a través de una fertilización adaptada (Avelino *et al.*, 1993).

6.1.1.4 El período de cosecha (figura 6-6)

La receptividad del cafeto pareciera incrementarse no solamente en plantas con una carga fructífera importante sino también en una misma planta a medida que se desarrolla el fruto. Esto se traduce al momento de la recolección del café por un paralelismo marcado entre el avance de la cosecha y el avance de la epidemia. En México, en las mismas tres localidades mencionadas anteriormente, el principio de la epidemia coincidió con el inicio de la cosecha. Posteriormente, el crecimiento acelerado de la epidemia ocurrió cuando la cosecha estaba bien establecida. Finalmente, el máximo de infección se encontró al final de la cosecha. La epidemia entonces empezó a declinar (Avelino *et al.*, 1991). Desde luego, este paralelismo también podría ser el resultado del gran movimiento de personas en los cafetales durante la época de recolección, lo que favorece la diseminación de las uredosporas. También podría deberse a que el desarrollo del fruto responde simplemente a los mismos estímulos exteriores (clima) que el de la epidemia de roya anaranjada. Lo anterior de cualquier forma tiende a indicar que una buena protección del cafetal antes de la cosecha es indispensable.

6.1.1.5 El inóculo residual

Son pocos los experimentos que se llevaron a cabo con el fin específico de estimar el efecto del inóculo residual sobre el desarrollo posterior de la epidemia. Se pueden citar los intentos de Muller (1980) en Camerún, a través de erradicaciones químicas, y Mansky y Matiello (1984), en Brasil, a través de erradicaciones manuales. Estos trabajos no lograron evidenciar mucho. Si bien es cierto que en el primer caso se atribuyó más el fracaso a un defecto experimental, no se puede negar que en el segundo sólo se obtuvo un leve retraso en el desarrollo de la epidemia, el cual ni siquiera afectó los niveles finales de infección. Claro está que las parcelas estudiadas eran pequeñas y que, después de un tiempo, no se pudieron evitar los intercambios de inóculo entre éstas ni las contaminaciones que provenían de los cafetales cercanos al experimento. Kushalappa y sus colaboradores

(1984), por su parte, consideraron que el inóculo primario no era tan importante para el desarrollo de la epidemia al notar que podían ocurrir epidemias graves independientemente de la cantidad de inóculo primario siempre y cuando las condiciones climáticas fueran óptimas.

El papel del inóculo residual, sin embargo, fue bien evidenciado en México (Avelino *et al.*, 1991). Se comprobó que toda la infección presente a principios de año se ubicaba en las hojas viejas del cafeto, hojas que habían nacido en la época de lluvias anterior al del año en estudio, mientras que las hojas jóvenes estaban en su gran mayoría perfectamente sanas. Se concluyó que la conservación de la enfermedad de un año para el siguiente se hacía a través de las hojas viejas infectadas que lograban sobrevivir durante la época seca. Se emitió la hipótesis que cuanto mayor fuera la cantidad de inóculo residual, mayor sería la incidencia de roya anaranjada en el año. Esto fue verificado en Guatemala, en un experimento de comparación de calendarios de aspersion, llevado a cabo en 1991 y 1992 (Avelino *et al.*, 1995). Se observó que los tratamientos que habían sido más eficaces en 1991, habían conservado mayor número de hojas y por lo tanto mayor cantidad de inóculo residual en 1992, e inducido epidemias muy precoces en ese último año. Al contrario, la epidemia del testigo sin ningún control químico se atrasó considerablemente al principio, pues este tratamiento era el que había permitido conservar la menor cantidad de inóculo residual, debido a la defoliación tan severa que se había presentado en 1991. Claro está que, posteriormente, la epidemia alcanzó y sobrepasó los niveles de enfermedad observados en las parcelas tratadas.

Lo anterior muestra que la defoliación juega un papel de regulador de la epidemia. Se entiende entonces que una época seca muy marcada, al acentuar la defoliación, no permita el desarrollo de epidemias muy graves (Avelino *et al.*, 1991). Lo mismo pasa cuando la carga fructífera es elevada: una cosecha importante aunada a una infección fuerte provocan una defoliación severa, la cual elimina el inóculo. Al año siguiente, en ausencia de inóculo residual y con una producción menor, la epidemia no alcanza niveles altos. Esto sugiere que la cantidad de inóculo residual incide también sobre el ritmo bienal de la epidemia.

6.1.2 Curva de progreso de la enfermedad a escala de la planta

En México también se estudió precisamente el desarrollo de la enfermedad a escala de la planta. Este se calificó de centrífuga (Avelino *et al.*, 1991). La epidemia inició a partir de las hojas viejas, localizadas en el

interior y abajo del cafeto, y, poco a poco, alcanzó las hojas jóvenes de las bandolas, en las partes más externas y altas de la planta. Para la parcela de menor altitud, en el tercio superior del cafeto, se alcanzó el 50% del desarrollo de la epidemia en el mes de noviembre, 60 días después de que este mismo porcentaje fuera alcanzado en el tercio inferior. Para la parcela de altitud intermedia, la diferencia fue de 49 días. En este último caso, en la parte alta del cafeto, el 50% del desarrollo de la epidemia ocurrió en el mes de diciembre. En cuanto a los niveles de infección alcanzados, éstos fueron mayores abajo de la planta que arriba. En el lote de baja altitud, se obtuvieron porcentajes acumulados de 62% y 46% de hojas jóvenes enfermas respectivamente, mientras en que el lote de altitud intermedia los porcentajes fueron de 28% y 18%. Cabe mencionar que algo muy similar fue reportado en Colombia (Villegas-García y Baeza-Aragón, 1990), con la diferencia de que los niveles de infección alcanzados eran mayores. Debido a que las partes altas y jóvenes de la planta, más activas del punto de vista fotosintético (Gaubiac, 1988), eran alcanzadas muy tardíamente en el año y con niveles de infección relativamente moderados, se llegó a pensar que la epidemia no era muy grave en el Sur de México, al menos no tan grave como en otros países de Sudamérica o de los continentes asiático y africano. Sin embargo, esto no fue confirmado posteriormente cuando se lograron evaluar las pérdidas de producción ocasionadas por la enfermedad.

6.1.3 *Las pérdidas de producción*

Fueron varios los intentos de evaluar las pérdidas de producción provocadas por la roya anaranjada en la zona mesoamericana. La idea era no solamente de cuantificar la pérdida sino también de determinar los umbrales económicos. En otros términos se trataba de evaluar a partir de que nivel de infección se tenían pérdidas de producción que justificaran el uso del control químico. Ningún trabajo logró alcanzar este último objetivo. Se tiene conocimiento de intentos frustrados tanto en México, como en El Salvador, Guatemala y Honduras. A nuestro parecer, una causa posible del fracaso de esos experimentos podría residir en el control inadecuado de la variabilidad a través de los diseños experimentales clásicos. En efecto, las heterogeneidades inevitables de la sombra y del suelo en la parcela experimental pueden originar grandes variaciones, indeseables y difícilmente controlables, en cuanto al ritmo de producción bienal de las plantas en estudio y por consiguiente en cuanto a su receptividad a la enfermedad. Se piensa que para evaluar las pérdidas de producción en

una forma eficiente, sería conveniente utilizar una metodología inspirada del método de los pares, que Muller y sus colaboradores (1969) propusieron tratándose de experimentaciones sobre cacao y que permite disminuir al máximo la heterogeneidad entre plantas. En una parcela experimental, se ubicarían parejas de cafetos vecinos o cercanos, con una carga fructífera, vigor y arquitectura similares. La cercanía entre sí de las plantas de una misma pareja garantizaría condiciones de sombra y suelo parecidas, y permitiría que los cafetos se encontraran en la misma fase del ciclo de producción. Un individuo de cada pareja sería protegido con un fungicida de forma que éste no se infectara en absoluto. Cabe mencionar, que para hacer una evaluación de pérdidas rigurosa, el fungicida utilizado no debe tener ningún efecto secundario. Por lo tanto no deben utilizarse ni productos sistémicos ni cúpricos. El estudio de los cafetos en cuanto a su infección y su producción se haría en forma individual. Las cargas fructíferas podrían variar entre las parejas (de poco productivas a altamente productivas). De esta manera, se podrían evaluar no solamente las pérdidas de producción causadas por un porcentaje de infección determinado sino también los niveles de producción a partir de los cuales la enfermedad causa pérdidas.

A pesar de las dificultades, algunos autores lograron estimar las pérdidas, aunque el grado de precisión no fuera elevado. Nunca se evaluaron pérdidas primarias (pérdidas inmediatas sobre la producción del año en que se desarrolló la epidemia; Zadoks y Schein, 1979), posiblemente porque la epifitía tiene un desarrollo tardío (durante la cosecha). Sin embargo, sí se evaluaron pérdidas secundarias (pérdidas sobre la producción del año siguiente al del desarrollo de la epidemia; Zadoks y Schein, 1979). En Honduras, Palma y sus colaboradores (1990) en un experimento de productos químicos de una duración de 2 años, reportaron pérdidas de producción de al menos 40%, ocasionadas por infecciones de 68%, con respecto a infecciones inferiores a 21%. En Guatemala, Avelino y sus colaboradores (1993), en un experimento específico de pérdidas de producción, estudiaron individualmente 50 plantas, 25 de las cuales fueron protegidas con un fungicida. Se encontraron pérdidas de producción de 21% como resultado de una infección acumulada de 16% de hojas jóvenes enfermas, en comparación con plantas totalmente sanas. En este trabajo también se determinó como se originaba la pérdida. La enfermedad, que ataca sobre todo plantas productivas, aumentó notablemente la caída de las hojas. La defoliación de las bandolas enfermas redujo el crecimiento de éstas. Por ende, el número de frutos llevados al año siguiente también disminuyó, ocasionando la pérdida ya mencionada. Lo anterior evidenció

que la roya anaranjada acentúa el ritmo bienal de la producción. Los daños evaluados en estos trabajos justificaron el uso del control químico, el cual es rentable aún empleando productos onerosos como los sistémicos.

6.1.4 Los modelos de predicción

Diferentes modelos de pronóstico incorporando variables climáticas y biológicas han sido desarrollados para predecir la evolución de la epidemia de roya anaranjada, con el fin de optimar su control químico. Algunos modelos predictivos se catalogan como empíricos, pues sólo se relacionan variables independientes con una variable de infección que se pretende predecir, sin tratar de explicar detalladamente los acontecimientos biológicos que intervienen en el desarrollo de la epifitía; algunos otros, conocidos como modelos fundamentales, al contrario sí lo intentan (Krause y Massie, 1975).

6.1.4.1 Los modelos empíricos evaluados en Centroamérica

a) El período de latencia

Como ya se ha dicho anteriormente, el período de latencia, es una de las variables que traducen mejor el desarrollo de la epifitía. En Honduras, se intentó explicar el período de latencia a través de los promedios de temperaturas mínima y máxima que ocurrieron durante el período, en una forma parecida a lo que hicieron por primera vez Rayner en Kenia (Rayner, 1961b) y posteriormente Moraes y sus colaboradores en Brasil (Moraes *et al.*, 1976). La idea era de identificar las zonas propicias al desarrollo de la epidemia y determinar las épocas para las cuales se acortaba el período de latencia con el fin de recomendar sistemáticamente los controles químicos en estos períodos. Dependiendo de la zona y de los años en estudio, se encontraron diferentes ecuaciones de regresión (Santacreo, Polanco y Oseguera, 1983; Tronconi *et al.*, 1995). Lamentablemente, el poder explicativo del desarrollo de una epidemia a través de esas ecuaciones es limitado. Pues, a parte de que la carga fructífera influye sobre la receptividad de la planta, y por lo tanto sobre el período de latencia (Eskes y Souza, 1981), lo cual no se tomó en cuenta en estos trabajos, existen otras variables, además de las temperaturas, que son cruciales en alguna u otra etapa del desarrollo de la epidemia, como la lluvia, la cantidad de inóculo presente, o la cantidad de follaje disponible.

b) Factores biológicos y climáticos

Con el objeto de mejorar esas ecuaciones, Oseguera (1991), inspirándose de trabajos llevados a cabo por Kushalappa y Chaves (1980) y Kushalappa (1981) tomó en cuenta unas variables climáticas adicionales como la humedad relativa, la pluviometría y el número de días con lluvia, unas variables biológicas relativas al hospedero, como el total de hojas presentes y el total de hojas sanas, y unas variables biológicas relativas a la enfermedad, como el porcentaje y el total de hojas enfermas. Ocho modelos fueron desarrollados para predecir el porcentaje de hojas con roya anaranjada que se presentaría 15, 30, 45 y 60 días después de la fecha del pronóstico, en dos localidades de Honduras con marcadas diferencias climáticas. Las variables independientes fueron evaluadas a partir de los datos obtenidos en los días anteriores a la fecha del pronóstico. Para el análisis, se utilizó una técnica de regresión lineal múltiple paso a paso, que escoge como primera variable explicativa la que permite obtener el mayor coeficiente de determinación. Posteriormente, la segunda variable en participar en la regresión es la que mejor explica la variabilidad restante. Esto se realiza hasta que ya no se encuentren variables que expliquen significativamente la variable dependiente. Se entiende entonces, que si dos variables independientes, muy explicativas, están altamente correlacionadas entre sí, sólo una participe en la ecuación de pronóstico; pues al entrar la primera, se pierde gran parte del poder explicativo de la segunda. Pero esto, no le resta importancia a la variable eliminada. En el caso que nos interesa, ninguna ecuación incluyó por ejemplo la temperatura mínima, y sólo una consideró la pluviometría, aunque éstas son variables determinantes para el desarrollo de la epidemia. Posiblemente otras variables explicativas, correlacionadas con las anteriores, las excluyeron. Para que los modelos permanezcan siempre válidos, las correlaciones, especialmente entre las variables independientes que sirvieron para la elaboración de la ecuación de pronóstico y las variables que fueron eliminadas, no deben variar. Pues, de lo contrario, se perdería la justificación que llevó a excluir de la ecuación unas variables muy explicativas. El modelo se volvería inestable e impreciso con el tiempo (Kushalappa *et al.*, 1983).

6.1.4.2 Los modelos fundamentales

Lo anterior llevó Kushalappa a desarrollar su modelo fundamental (Kushalappa *et al.*, 1984). En este modelo, al contrario del modelo anterior, no se excluyó ninguno de los factores conocidos como necesarios a la

sucesión de acontecimientos que conducen al desarrollo de la epidemia. La información fue integrada en una sola variable explicativa denominada NSRMP (Net Survival Ratio for the Monocyclic Process) o Grado de Supervivencia Neta para el Proceso Monocíclico. Para la elaboración del modelo de pronóstico, se calculó el NSRMP sobre un período de 28 días de duración antes de la fecha de predicción. La variable explicada fue la tasa de crecimiento acumulado de la epidemia, estimada 28 días después de la fecha de predicción. El NSRMP está comprendido teóricamente entre 0 y 1. Un valor de 0 significa que la enfermedad no tiene posibilidad de reproducirse. Un valor de 1 significa al contrario que todas las condiciones necesarias para la reproducción están teóricamente reunidas. El NSRMP es el producto de tres factores. Las relaciones que determinan la importancia de cada uno de estos factores fueron obtenidas experimentalmente a través de pruebas de laboratorio o de campo.

El primer factor es el Grado de Supervivencia Básica (BSR, Basic Survival Ratio). Este cuantifica simplemente la presencia de inóculo, evaluada como la proporción acumulada de hojas enfermas, proporción acumulada de área foliar enferma, o proporción acumulada de área foliar con roya anaranjada activa. Pues, el desarrollo futuro de la epidemia depende evidentemente de la cantidad de inóculo presente en las fechas anteriores.

El segundo factor es el Equivalente Ambiental para el Proceso Monocíclico (MPÉE, Monocyclic Process Equivalent for the Environment), el cual cuantifica las condiciones ambientales favorables a la esporulación del hongo, su diseminación y la infección. Kushalappa y sus colaboradores estimaron que en los días en que la lluvia era de 1 mm al menos, la diseminación siempre se lograba, y que en los días sin lluvia (menos de 1 mm) el viento permitía la diseminación de la enfermedad en un 50% de los casos. Además, se consideró que el logro de la polución dependía de la densidad del follaje. La probabilidad para que una espora diseminada vuelva a encontrar una hoja de café es muy baja. Kushalappa y sus colaboradores estimaron que un área foliar teórica de 30 m² por m² de suelo sería la condición necesaria para que todas las uredosporas diseminadas fueran depositadas sobre la cara inferior de alguna hoja de café. En las condiciones reales, en que el índice foliar de un cafetal vale aproximadamente 3 (Rapidel, 1995), el 90% de las esporas diseminadas son perdidas. Para el éxito de la infección, Kushalappa y sus colaboradores tomaron en cuenta que un período de 48 horas consecutivas de agua sobre la hoja y una temperatura de 23°C eran necesarios. Condiciones abajo de 6 horas de mojadura de la hoja y/o temperaturas abajo de 14°C o arriba de 30°C

fueron consideradas como antagónicas de la infección. Para la esporulación, se estimó que las condiciones óptimas siempre estaban reunidas, ya que no se tenían relaciones que permitieran cuantificarlas.

El tercer y último factor es el equivalente del proceso monocíclico para el hospedero (MPEH, Monocyclic Process Equivalent for the Host). Este se descompone en dos elementos. El primero cuantifica la resistencia genética del hospedero. En la mayoría de los casos, los genotipos evaluados son totalmente susceptibles y su valor es de 1. El segundo cuantifica la predisposición del hospedero debida a su carga fructífera. El valor mínimo de este factor es de 0.5, ya que se consideró que la carga fructífera sólo explicaba un 50% de la infección. El máximo de 1 es alcanzado cuando los frutos están maduros, fase en la cual la predisposición de la hoja es mayor. Kushalappa y sus colaboradores desarrollaron el modelo a partir de dos años de estudio en cuatro localidades de Brasil. Nunca se encontraron valores del NSRMP superiores a 0.1 cuando se consideraron proporciones de hojas enfermas o a 0.004 cuando se trataba de proporciones de área foliar enferma. Las tasas de crecimiento no pasaron de 0.6 y 0.025 monits (transformación monomolecular) por período de 28 días respectivamente. Dentro de estos rangos, las mejores ecuaciones de pronóstico fueron las que se obtuvieron a partir de regresiones polinomiales del segundo grado con coeficientes de determinación respectivos de 0.64 y 0.76. Kushalappa y sus colaboradores propusieron que los controles químicos empezaran cuando las tasas de crecimiento alcanzaran 0.1 monits por período de 28 días, considerando proporciones de hojas enfermas, ó 0.0026 monits por período de 28 días, considerando proporciones de área foliar enferma, equivalentes a valores del NSRMP respectivos de 0.006 y 0.00015.

En 1984 y 1985, la Comisión México-Guatemala para la Prevención y Control de la Roya del Cafeto se involucró en el desarrollo de un modelo de pronóstico siguiendo los pasos de Kushalappa y sus colaboradores. Se divulgaron los resultados correspondientes a dos zonas altamente favorables a la roya anaranjada (Comisión México-Guatemala para la Prevención y Control de la Roya del Cafeto, 1987). Los niveles del NSRMP para los cuales se recomendaba el control fueron alcanzados entre 1 y 3 veces, entre abril y noviembre dependiendo del año y de la localidad. Lo anterior comprobaba que las recomendaciones iniciales de Guatemala de efectuar sistemáticamente una aplicación de un producto cúprico en los meses de febrero o marzo, durante la época seca, no estaban acertadas (Comisión México-Guatemala para la Prevención y Control de la Roya del Cafeto, 1983). En México, Holguín (1987b), a partir de un estudio de cuatro años de duración, estableció varias ecuaciones de regresión simple entre el

NRSMP y las tasas de crecimiento. Dependiendo del período epidémico considerado, se observaron coeficientes de determinación que variaron entre 0.01 y 0.83, concluyendo que parecía difícil que una sola ecuación de predicción pudiera usarse para varios ciclos diferentes. Lo anterior sugiere que otros factores no conocidos, y por lo tanto no evaluados, fueron las causas de las variaciones observadas.

6.1.5 *La encuesta: una forma antigua de hacer nuevas investigaciones en epidemiología*

La propuesta de Kushalappa y sus colaboradores no tuvo mucha aceptación a nivel centroamericano. Por un lado, parecía un método difícil de implementar comparado con las acciones simples que se podían tomar a través del conocimiento general de la epidemia. Por otro lado, el ahorro de aspersiones esperado no era tan grande como en Brasil. Pues, en la mayoría de los países del área no se recomiendan más de 3 aplicaciones de cúpricos al año, a la diferencia de Brasil, donde las recomendaciones locales llegan comúnmente hasta cinco aspersiones. Además, las ecuaciones de predicción encontradas no fueron muy precisas. Los coeficientes de determinación no pasaron de 0.76. Lo anterior puede deberse a que una serie de variables importantes, no climáticas principalmente, cuyo efecto era desconocido o difícil de estudiar, no se contemplaron para el desarrollo del modelo. Entre los factores que tienen posiblemente la capacidad de modificar la receptividad de la planta y/o alguna etapa del ciclo de base del hongo están el suelo, las prácticas culturales como la fertilización o las limpias, el número de cortes, el vigor de las plantas, las densidades de siembra y la sombra, entre otros.

El efecto de estas variables sobre la roya anaranjada podría evidenciarse a través de ensayos con diseños experimentales clásicos, en los cuales se evaluarían diferentes niveles de cada uno de los factores en estudio. Lamentablemente, estos métodos no permiten considerar generalmente más de tres factores a la vez. Por lo tanto, se necesitarían muchos años de trabajo antes de terminar la evaluación. La encuesta obvia estos inconvenientes. Al muestrear un gran número de fincas, se aprovecha la variación natural de las condiciones de cultivo observadas en la zona muestreada. En pocos años se pueden evidenciar las relaciones que existen entre la mayoría de los factores evaluados y la enfermedad. El muestreo puede ser dirigido de manera a que la variabilidad observada en cuanto a las variables en estudio sea suficientemente amplia. Con el objeto de estudiar los efectos individuales de cada una de las variables explicativas de

la enfermedad, también es necesario realizar un muestreo en que éstas varíen en forma independiente. Evidentemente cuanto más grande sea el tamaño de la muestra, mejores serán los resultados. El análisis de los datos requiere de técnicas estadísticas multivariadas, las cuales empezaron a utilizarse en los últimos años solamente, con el advenimiento de la computación, lo que explica que la encuesta a pesar de ser un método antiguo, empiece solamente a desarrollarse.

Savary fue uno de los precursores en el uso de esta metodología en el campo de la epidemiología, en cultivos como el cacahuate y el arroz (Savary, 1987a; Savary, 1987b; Savary *et al.*, 1994). En cuanto a las enfermedades de café, sólo se conocen dos experiencias muy recientes. La primera se desarrolló en Nueva Caledonia, donde se observó el desarrollo de la epidemia de roya anaranjada en veintinueve lotes diferentes (Lamouroux *et al.*, 1995). Se evidenció un efecto original del pH y del contenido en materia orgánica sobre la enfermedad. Los suelos en los cuales el cafeto presentó un buen desarrollo (pH entre 4.7 y 6.5) y los suelos con contenidos en materia orgánica inferiores a 3%, fueron favorables al desarrollo de la roya anaranjada. A raíz de estos trabajos, Lamouroux y sus colaboradores propusieron un modelo simple de pronóstico adaptado a Nueva Caledonia, el cual consideraba solamente la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima anuales además de las últimas dos variables ya mencionadas. En Honduras se desarrolló un trabajo similar con una duración de tres años. Se muestrearon veinticinco fincas en el primer año, treinta y cinco en el segundo y setenta y tres en el último. Los resultados de los primeros dos años (sesenta individuos) fueron publicados (Avelino *et al.*, 1998). Estos conciernen lotes ubicados en altitudes entre 595 m y 1140 m. Se observó al igual que en Nueva Caledonia un efecto del acidez del suelo sobre la enfermedad. En este caso, sin embargo, las mayores infecciones se encontraron en los suelos más ácidos. También se evidenciaron relaciones entre la incidencia de la enfermedad y la temperatura, la altitud, la pluviometría, la producción, el vigor de las plantas, el porcentaje de sombra, la distancia entre plantas en el surco, y el número de cortes (cuadro 6-1). Las mejores variables sirvieron para definir un primer bosquejo de los dominios de riesgo de la enfermedad.

6.2 El control químico

En un principio, ante la urgencia de combatir la enfermedad, la mayor parte de los países del área centroamericana adoptaron medidas de

Cuadro 6-1. Relaciones encontradas entre la enfermedad, el ambiente, la producción y el nivel técnico a partir de una encuesta efectuada sobre 60 individuos (según Avelino *et al.*, 1997).

Tablas de contingencia (número de individuos)		Porcentaje de hojas jóvenes enfermas a finales de cosecha			p* (%)
		[9.2 , 31.9]	[31.9 , 57.7]	[57.7 , 85.1]	
[Al] (cmol+)/dm3)	0.01	14	4	6	0.9
	]0.01 , 0.62]	2	10	6
	]0.62 , 6.38]	4	6	8
pH	[4.0 , 5.3]	5	7	8	1.0
	]5.3 , 5.8]	2	8	9
	]5.8 , 7.7]	13	5	3
Temperatura promedio anual (°C)	[21.2, 21.8] o]23.4, 24.2]	14	11	5	1.5
	]21.8 , 23.4]	6	9	15
Altitud (m)]595, 650] o]995, 1140]	10	9	3	6.2
	]650 , 995]	10	11	17
Pluviometría anual (mm)]957, 1000] o]1190, 1566]	17	14	11	11.5
	]2329 , 2441]	3	6	9
Altura/circunferencia (vigor)]5.7 , 16.0]	17	10	13	6.1
	]16.0 , 20.7]	3	10	7
Producción total en 5 plantas (en número de frutos)]181 , 5913]	6	10	4	7.7
	]5913 , 9000]	10	4	6
	]9000 , 37385]	4	6	10
Distancia entre plantas en el surco (m)]0.84 , 1.15]	7	14	8	5.5
	]1.15 , 1.79]	13	6	12
Número de cortes]2 , 4]	11	12	6	12.4
	]4 , 13]	9	8	14
% sombra]6 , 54]	15	10	15	15.1
	]54 , 83]	5	10	5

* Nivel de probabilidad arriba del cual las variables se consideran dependientes según la prueba de la ji-cuadrada.

control importadas de otros lugares como Brasil: se tenían recomendaciones de entre cinco y siete aplicaciones por año de fungicidas a base de cobre, con una frecuencia mensual a partir del primer mes de la época de lluvias, a razón de 5 a 6 kg de producto por hectárea. Con el fin de mejorar estas recomendaciones, el control químico fue objeto de múltiples investigaciones en el ámbito centroamericano, principalmente en El Salvador y Honduras.

6.2.1 Los productos cúpricos

Los productos basados en cobre fueron los más estudiados por su bajo costo y porque su efecto había sido comprobado en otras regiones del mundo. A los pocos años de aparecer la roya en El Salvador y en Honduras, se corroboró la eficiencia del oxiclورو, del hidróxido y del óxido de cobre (Bonilla J.C., 1982; Oseguera *et al.*, 1982). Simultáneamente, las dosis y frecuencias de aspersión se fueron afinando. Primero, en El Salvador, Gil (1982), determinó que el control de la enfermedad era satisfactorio con dosis de 2.5 kg/ha de un producto basado en oxiclورو de cobre, o 2.0 kg/ha de un producto basado en óxido de cobre, ambos productos conteniendo 50% de cobre metálico, en cinco aspersiones a intervalo de un mes. Estudiando más precisamente las frecuencias de aspersión, Gil y Bautista (1982) concluyeron que se lograba un buen control de la roya anaranjada con tres aspersiones bimestrales (junio-agosto-octubre) de un producto basado en oxiclورو de cobre, conteniendo 50% de cobre metálico, a una dosis de 3.5 kg/ha. Los mismos autores demostraron que la persistencia del producto sobre la hoja después de la aplicación era de 45 días, explicando así la eficiencia del programa de aspersión bimestral. También se encontró que el adherente no mejoraba ni la persistencia del producto ni el control de la enfermedad. Bonilla J.C. y Cerón en El Salvador (1985), al estudiar las concentraciones de empleo de los productos cúpricos en el agua, establecieron que las concentraciones de 0.35% para óxidos e hidróxidos y 0.5% para oxiclورuros eran iguales de eficientes. Algo similar fue descrito en Honduras, donde Bonilla C.A. y Tronconi (1985) determinaron que con 4 aspersiones mensuales de oxiclورو de cobre con dosis de 3.0 kg/ha, o de hidróxido de cobre u óxido de cobre con dosis de 2.5 kg/ha se obtenían buenos resultados. Más recientemente se determinó que la dosis de 2.0 kg/ha para óxidos e hidróxidos era eficiente (Palma *et al.*, 1990). En Honduras, dependiendo de las zonas, se encontró que entre 3 y 4 aspersiones de oxiclورو de cobre (3.5 kg/ha), iniciando con la época de lluvias, con intervalos de uno a dos meses entre cada

aspersión, eran suficientes para obtener un buen control (Bonilla C.A. *et al.*, 1984; Santacreo *et al.*, 1985; Palma y Oseguera, 1985).

6.2.2 Los sistémicos

Además de los cúpricos, también se estuvieron investigando diferentes productos sistémicos de acción curativa. Aunque estos productos constituyen una alternativa eficiente para el control de la enfermedad, su alto costo, a veces exagerado, los ha convertido en productos inaccesibles para la mayoría de los productores centroamericanos. Los productos sistémicos más estudiados son los que pertenecen a la familia de los triazoles. Se comprobó la eficiencia de diferentes materias activas como el triadimefon en aplicación foliar, a una dosis de 250 g de ingrediente activo por hectárea (Bonilla J.C., 1982, 1987), el propiconazole en aplicación foliar, a una dosis de 178.5 g de ingrediente activo por hectárea (Bonilla J.C., 1987), el triadimenol en aplicación al suelo a una dosis de 0.15 a 0.25 g de ingrediente activo por planta, el hexaconazole en aplicación foliar a una dosis de 25 a 50 g de ingrediente activo por hectárea (Toledo *et al.*, 1995), el cyproconazole en aplicación foliar a una dosis de 20 g de ingrediente activo por hectárea (Toledo *et al.*, 1995).

También se evidenció el efecto de un anílido, el pyracarbolide en aplicación foliar a una dosis de 600 g de ingrediente activo por hectárea (Bonilla J.C., 1987). Se determinó que una sola aplicación de estos productos no era suficiente en general para controlar la enfermedad, con la excepción del triadimenol (Tronconi y Escoto, 1990), y más de dos resultaban demasiado caras; por lo cual, su utilización se recomienda usualmente cuando ésta es absolutamente necesaria o sea cuando las incidencias son altas. Dos razones principales podrían llevar a reconsiderar esta estrategia de control. La primera razón está relacionada con las nuevas tendencias ambientalistas del mercado. El cobre, lamentablemente, como metal pesado, es una fuente de contaminación del ambiente, del suelo y de las aguas principalmente. Los triazoles al contrario se degradan. A los ocho días después de la aspersión, el contenido de estos productos en las hojas es apenas un 50% del que se tenía originalmente (Seng y Barchietto, 1996). La segunda razón tiene que ver con las probabilidades de seleccionar cepas del hongo resistentes al fungicida, las cuales disminuyen cuando las aspersiones de sistémicos se hacen en forma preventiva, o sea cuando la presión de inóculo es baja.

6.2.3 Algunos comentarios sobre el control químico de la roya anaranjada

Como ya se vio, las recomendaciones de uso de los fungicidas se dan generalmente en forma de dosis por unidad de área, principalmente porque el volumen de agua utilizado depende en gran parte del equipo de aspersión empleado. Sin embargo, este también depende de la cantidad de follaje. Se entiende que para obtener una protección de las hojas siempre ideal, debería de aplicarse una dosis por hectárea más alta en una plantación con mucho follaje que en un cafetal con poco follaje. Las recomendaciones a través de concentraciones de empleo (en porcentaje del producto en el agua de la bomba) son por lo tanto preferibles ya que al aumentar el consumo de agua por razones de densidad de follaje también aumenta la cantidad de producto utilizada por unidad de área.

Últimamente, principalmente en Nicaragua, se está promoviendo la modalidad de realizar las aspersiones con base en los resultados de un muestreo que se realiza mensualmente (Úbeda, 1995). La incidencia crítica para realizar las aspersiones cúpricas ha sido fijada en 5%. Un método similar ya se había recomendado en El Salvador. Este método permite aplicar el fungicida sólo cuando éste es necesario, y en ocasiones, puede llevar a reducir el número de aspersiones, permitiendo un ahorro substancial.

Cualquiera que sean las recomendaciones o métodos escogidos, es indiscutible la existencia actual de una gran brecha entre lo que se sugiere que se haga y lo que realmente se hace. La falta de aplicación de las recomendaciones es el posible indicador de que las soluciones técnicas al problema de la roya anaranjada son todavía demasiado estandarizadas y no están adaptadas a las necesidades y/o posibilidades particulares del agricultor. También podría deberse a un problema general de transmisión del conocimiento del técnico hacia el productor, el último siendo generalmente un receptor pasivo del mensaje tecnológico (Monterroso, 1995).

7 Las Resistencias

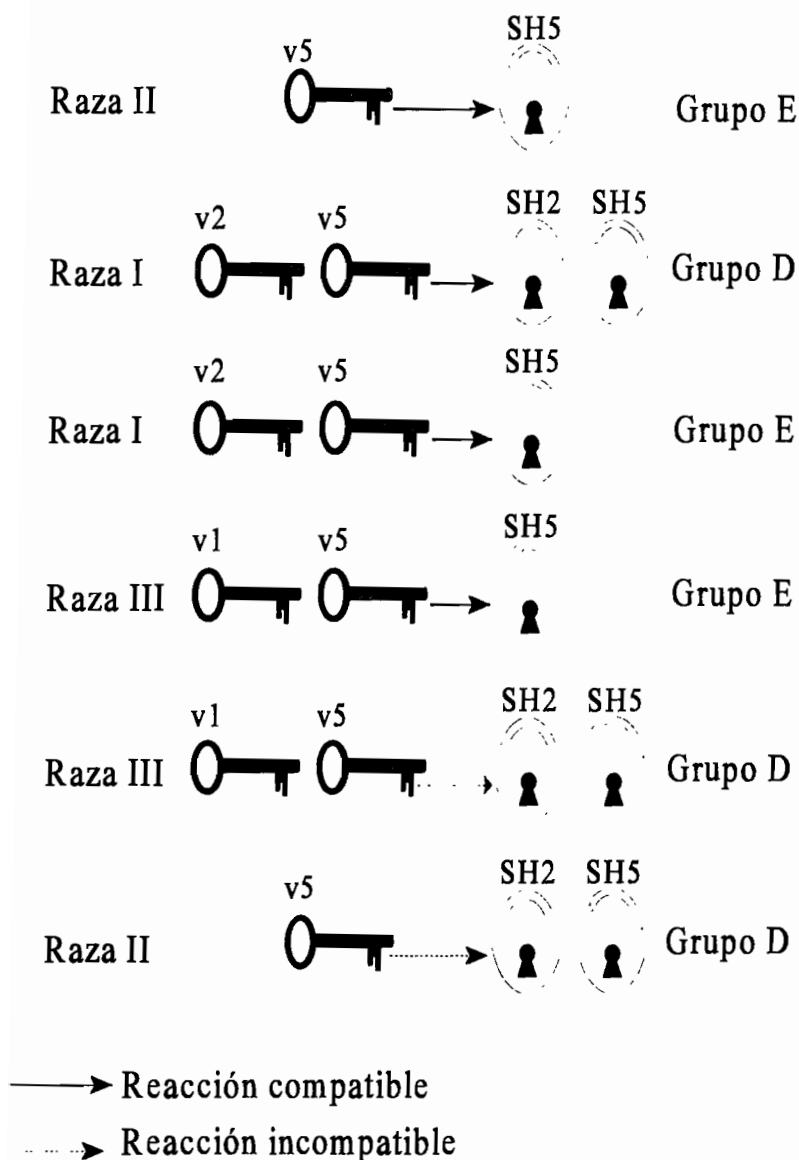
Considerando el costo de los fungicidas, la degradación del ambiente que éstos provocan por acumulación de metales pesados en el suelo y en las aguas, la dificultad de aplicación en ciertas pendientes muy pronunciadas o en lugares donde el agua escasea, y los riesgos para el usuario y el consumidor, la solución genética es definitivamente mucho más atrayente.

7.1 *La resistencia completa del caféto a la roya anaranjada*

Gracias a los estudios iniciados por Mayne (1932) y desarrollados posteriormente por el CIFC (Centro de Investigaçao das Ferrugens do Cafeeiro) desde su creación en Portugal en 1955, se tiene un conocimiento preciso de las relaciones genéticas que existen entre el caféto y la roya anaranjada. Estas son regidas por un sistema genético de tipo específico. Se conocen al menos nueve genes implicados en la resistencia específica del caféto a la roya anaranjada. Los genes de resistencia (SH1 hasta SH9) en el hospedante corresponden "gen a gen" según la teoría de Flor (1955), a genes de virulencia (v1 hasta v9) en el parásito. Una reacción compatible se presenta cuando el hongo posee al menos todos los genes de virulencia correspondientes a los genes de resistencia del hospedero. Al contrario, si el hongo carece de uno de estos genes de virulencia al menos, se obtiene una reacción incompatible, sin ningún tipo de síntoma, o en otros términos una reacción de resistencia completa (figura 6-9). Diversamente asociados entre ellos, los genes SH determinan diferentes "grupos de resistencia" en el hospedante, al igual que diversamente asociados entre ellos, los genes de virulencia determinan las diferentes "razas fisiológicas" en el parásito, de las cuales se conocían treinta y dos en 1975 (Rodrigues *et al.*, 1975). Actualmente, una colección de al menos treinta y nueve razas fisiológicas existen en el CIFC (Rodrigues *et al.*, 1993).

Los genes SH son dominantes. Su selección es fácil, porque se expresan aún cuando los genotipos son heterocigotos. Una excepción, sin embargo, según Eskes (1982b), es para el gen SH4 que confiere la resistencia completa sólo en estado homocigótico en condiciones de fuerte luminosidad.

De los nueve genes conocidos, cuatro han sido identificados en el *C. arabica*, SH1, SH2, SH4, SH5. La mayoría de los *Arabica* cultivados poseen el gen SH5, y aquellos que no tienen más que este gen constituyen el grupo de resistencia E. La resistencia ligada a SH5, es vencida por el factor de virulencia v5 que está presente en la raza II, y en al menos otras treinta razas más donde se encuentra asociado en diferentes formas a otros factores de virulencia. El gen SH5, por este hecho, tiene muy poco interés en mejoramiento genético. La variedad "Kent", de India, aporta un gen suplementario SH2, asociado a SH5. Este gen fue encontrado también en otras accesiones que conforman en conjunto el grupo de resistencia D. En Etiopía, se han encontrado los otros dos genes SH1 y SH4 solos o en combinaciones con SH5. Son los grupos de resistencia (SH1), C (SH1,



J.Avelino

Figura 6-9. Relación de gen a gen en el sistema de resistencia completa "roya anaranjada-cafeto".

SH5), ((SH4), J (SH4, SH5), I (SH1, SH4), W (SH1, SH4, SH5), L (SH1, SH2, SH5). El factor de resistencia SH3 proviene del *C. liberica*. Asociado a SH5 éste conforma el grupo de resistencia G, y asociado a SH5 y SH2 el grupo H. Los últimos cuatro genes, SH6, SH7, SH8, SH9 tienen su origen en el *C. canephora*. En la actualidad, cinco grupos de resistencia que poseen estos cuatro genes han sido identificados. El grupo de resistencia A es representado por el híbrido de Timor 832/1 (híbrido natural entre un *C. arabica* y un *C. canephora* originario de la isla de Timor). Este tiene al menos los cuatro genes de resistencia identificados en el *C. canephora* y posiblemente otros más no identificados. Su particularidad es que resiste a todas las razas de roya anaranjada conocidas hasta este día, lo que lo ha convertido en una fuente de resistencia privilegiada en los programas de mejoramiento. Diferentes combinaciones de estos cuatro genes conforman los otros grupos denominados R, 1, 2, y 3.

Como ya se mencionó, todas las variedades de café cultivadas en América latina eran susceptibles a la roya anaranjada cuando ésta se detectó por primera vez en Brasil. El grupo de resistencia más común era el grupo E (SH5). La raza II, la más sencilla de todas las razas, ya que ésta sólo posee el gen de virulencia v5, constituye la raza mejor adaptada a este grupo. En efecto, existen evidencias de que la acumulación de genes de virulencia del v1 al v5, en razas complejas, por mutaciones sucesivas a partir de la raza II, está asociada con una disminución de la agresividad de estas razas, o sea una disminución en su capacidad de esporulación y/o un incremento de la duración de los períodos de latencia (Gil, 1988), lo que debería convertir las en razas menos competitivas que la raza II, cuando el hospedero disponible es exclusivamente del grupo de resistencia E. Hasta 1997, todas las muestras de roya anaranjada procedentes de América central que fueron evaluadas en el CIFC, muestras de 1977, 1984, 1992, 1993 y 1994 originarias de Nicaragua, Honduras, Guatemala y Costa Rica, fueron identificadas como muestras de la raza II únicamente (Rodríguez Jr., C.J., comunicación personal del 20 de noviembre, 1997). Últimamente, sin embargo, el CIFC identificó la raza I (v2 v5) en unas muestras de la región del lago de Yojoa, en Honduras, región muy favorable al desarrollo de la enfermedad (Rodríguez Jr., C.J., comunicación personal del 18 de mayo de 1998). Es de señalar que la raza I también había sido reportada en El Salvador (Gálvez *et al.* 1980). Claro está que la raza I, con sólo dos factores de virulencia, tiene una capacidad de reproducirse sobre el grupo de resistencia E relativamente elevada, lo que posiblemente le ha permitido mantenerse desde su aparición aún en ausencia del grupo D, grupo de resistencia que le corresponde.

En varios países de América Central, a través del programa PROME-CAFE, se han seleccionado localmente, diferentes variedades resistentes a la roya anaranjada a partir de genotipos híbridos llamados Catimor (Caturra x Híbrido de Timor) originarios de Portugal o Brasil (Echeverri, 1988). Todas las selecciones locales de Catimor (Catrenic, Ihcafe 90, Costa Rica 95) han sido realizadas sobre todo con criterios de productividad y de resistencia a la raza II. Conociendo la gran aptitud de la roya anaranjada para mutar y sabiendo que la diversidad de genotipos favorece la diversificación del patógeno en razas a cada vez más complejas a través de mutaciones monogénicas sucesivas, resulta evidente que solamente con Catimores homogéneos poseyendo un gran número de genes de resistencia, se tendría la oportunidad de preservar la resistencia por mucho años (Muller, 1984). A partir de la raza II o de la raza I, una mutación simultánea sobre tres o cuatro genes tendría, en efecto, una probabilidad de ocurrir casi nula. Lamentablemente, no se conoce exactamente el número de genes de resistencia de todas las líneas de Catimor. El genotipo mejor documentado en este aspecto es el Ihcafe 90. Se comprobó en efecto que una de sus plantas madres, de las trece que lo componen, era homocigota para su resistencia sobre al menos tres genes, ya que al retrocruzarla con Catuaí y confrontar su descendencia F2 a la raza II, menos del 5% de los cafetos se mostraron susceptibles (Santacreo *et al.*, 1995). Para las demás plantas madres sólo se puede decir que sus descendencias inmediatas pertenecen en su gran mayoría al grupo A, en un grado menor al grupo 1, y en porcentaje muy pequeño al grupo 3 (pruebas hechas por el CIFIC en agosto de 1985, junio de 1987 y marzo de 1990). Para la variedad Costa Rica 95, la descendencia inmediata de sus dos progenies pertenece al grupo A y 1 (pruebas hechas en el CIFIC en febrero de 1983). Siete años después de la liberación del Ihcafe 90, todavía no se ha reportado ninguna planta susceptible. Aunque esto es muy alentador en cuanto a la durabilidad de su resistencia, es importante tomar en cuenta, por un lado, que han sido relativamente pocas las semillas liberadas: un máximo de 7500 ha estarían sembradas con Ihcafe 90 en Honduras o sea alrededor del 3% del área sembrada con café en el país. Por otro lado, parte de éstas fueron sembradas en altitudes altas donde la presión de inóculo es baja. Lamentablemente, no se sabe nada de los materiales que fueron liberados en el transcurso del proceso de selección por particulares. Estos genotipos posiblemente pertenezcan en porcentajes más altos a grupos de resistencia con pocos genes y sean por lo tanto de mayor riesgo. El peligro también podría presentarse con la variedad Robusta si ésta llegara a cultivarse en la región, como a veces se propone. Esta variedad se caracteriza por ser

alógama. Cuando las plantas se obtienen a partir de semilla, se consigue necesariamente una diversidad de genotipos. Las razas de roya anaranjada que logran atacar el Robusta estarían más cerca de vencer la resistencia del Catimor. El peligro es de considerarse seriamente. Pues desde hace poco se sabe que las razas de roya anaranjada que atacan el Catimor (originarias de Indonesia) son muy agresivas (Holguín, 1993).

7.2 La resistencia incompleta del cafeto a la roya anaranjada

Los estudios hechos por Eskes (1983) confirman que existe otro género de resistencia, incompleta y cuantitativa, posiblemente de tipo no específico. Apoyándose sobre otras relaciones hospedero-parásito, se puede pensar que este sistema cuantitativo debería ser más duradero que la resistencia completa, especialmente porque éste está frecuentemente determinado por un número elevado de genes. Al contrario de la resistencia completa, la resistencia no específica permite que una reacción compatible ocurra. El hongo sin embargo se desarrolla con ciertas limitaciones en cuanto a su poder de esporulación y/o la duración del período de latencia. Su evaluación por lo tanto sólo puede hacerse en ausencia de resistencia completa.

Como ya se vio, *C. canephora* es una fuente de resistencia completa, pero también es una fuente de resistencia incompleta. Esta se evidenció en el cultivar Conilón (o Kouillou), perteneciente al grupo de resistencia F, susceptible a todas las razas de roya anaranjada (Cadena-Gómez y Buritica-Céspedes, 1980). La resistencia del *C. canephora* aparentemente se transmitió también a algunos híbridos interespecíficos como el Icatú (Bourbón x Robusta) y especialmente el Catimor. Al comparar Catimores segregantes del grupo E con Arábicas, se observó que en los primeros la roya anaranjada (razas II y III) tenía efectivamente períodos de incubación y de latencia más cortos, un número de lesiones esporuladas menor y una intensidad de la enfermedad más baja que en los segundos (Chaves, 1976; Fonseca, 1979). Algo similar fue encontrado en Honduras con descendencias del Catimor T-8666 (3-3) (Santacreo, 1989). Es muy probable, por lo tanto, que algunos Catimores posean a la vez genes de resistencia completa y genes de resistencia incompleta, lo que los convierte en materiales de gran interés. La durabilidad de la resistencia incompleta ha sido puesta en duda por Eskes y sus colaboradores (1990). Estos autores

identificaron un aislamiento de *H. vastatrix* que lograba quebrar la resistencia incompleta presente en algunas líneas de Catimor, Icatú y Conilón, demostrándose así la existencia de un tipo de resistencia incompleta y específica. Este descubrimiento tiende a demostrar que la solución genética duradera al problema de la roya anaranjada solamente se puede lograr a través de la acumulación de un gran número genes de resistencia, tanto completa como incompleta.

La resistencia incompleta también existe en el *C. arabica*. Esta se ha detectado en varias líneas etíopes (Tarjot y Lotodé, 1979; Eskes, 1983; Leguizamón, 1983; Gil, 1988). Holguín (1993), en la descendencia de un cruzamiento entre Caturra Amarillo y cultivares etíopes, también evidenció una fuerte resistencia incompleta, la cual aumentó considerablemente el período de latencia del hongo y disminuyó su esporulación. Esta resistencia incompleta, que se transmitió aparentemente con facilidad, posiblemente sea atribuible sólo al gen de resistencia completa SH4 de origen etíope, el cual, como ya se dijo, bajo ciertas condiciones de luz, y al estado heterocigoto no expresa su característica de resistencia completa, pero sí limita el desarrollo del hongo (Eskes, 1982b). Los materiales etíopes son de cualquier forma de gran interés para el mejoramiento genético, pues poseen además fuentes de resistencia al CBD y a los nematodos.

8 Conclusión: La Roya Anaranjada del Cafeto en América Central Más de Veinte Años Después

Más de veinte años después de que se detectara por primera vez la roya anaranjada en Nicaragua y después de muchos temores, campañas de sensibilización, erradicación y control, gastos necesarios e innecesarios, múltiples investigaciones, la roya anaranjada ha dejado de ser un tema movilizador. Podría pensarse que el problema está resuelto. Conociendo tanto sobre la enfermedad y habiendo métodos de control comprobados, ¿cómo explicar entonces las epidemias graves que han ocurrido en la región en los últimos años (las más sonadas: Costa Rica, 1989-90, Nicaragua 1995-96, Honduras 1995-96)? ¿Exceso de confianza y/o falta de conocimiento de los productores, descuido de las fincas por limitaciones económicas, falta de adopción de recomendaciones de control demasiado homogéneas, escasa renovación de materiales susceptibles por variedades resistentes, falta de investigaciones en este campo, o incluso cambios climáticos? Parte o totalidad de estas razones son de considerar. Más de

veinte años después, la roya anaranjada ya no es un mito, es una realidad, bien establecida en el paisaje centroamericano, que amerita una atención permanente del sector cafetalero.

Bibliografía

- Akutsu, M. 1981. Relação de funções climáticas e bióticas com a taxa de infecção da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.). Tesis de M.Sc., Universidad Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 67 p.
- Amante, E.; Vulcano, M.A.; Abrahao, J. 1971. Observações preliminares sobre a influencia da entomofauna na dispersão dos uredosporos da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*). *Biológico* 37(4): 102-105.
- Avelino, J.; Muller, R.A.; Cilas, C.; Velasco, H. 1991. Développement de la rouille orangée dans des plantations en cours de modernisation plantées de variétés naines dans le Sud-Est du Mexique. *Café Cacao Thé* 35(1): 21-42.
- _____; Seibt, R.; Zelaya, H.; Ordóñez, M.; Merlo, A. 1998. Enquête-diagnostic sur la rouille orangée du caféier Arabica au Honduras. In 17 Colloque Scientifique International sur le Café, Nairobi, Kenya, 20-25 juillet 1997. France, ASIC. p. 613-620.
- _____; Toledo, J.C.; Medina, B. 1993. Développement de la rouille orangée (*Hemileia vastatrix*) dans une plantation du Sud-Ouest du Guatemala et évaluation des dégâts qu'elle provoque. In 15 Colloque Scientifique International sur le Café, Montpellier, France, 6-11 juin 1993. France, ASIC. p. 293-302.
- _____; Toledo, J.C.; Medina, B. 1995. Evaluación de épocas y número de aplicaciones de óxido de cobre para el control de la roya anaranjada del café (*Hemileia vastatrix*) en una finca del suroeste de Guatemala. In 16 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana, Managua, Nicaragua, 25-29 octubre, 1993. Honduras, IICA. Sin número de páginas.
- Barros, R.S.; Maestri, M. 1974. Influencia dos fatores climáticos sobre a periodicidade de crescimento vegetativo do café. *Revista Ceres* 21(116): 268-279.
- Berkeley, M.J. 1869. *Gardner's Chronicle*. 45: 1157.
- Bock, K.R. 1962. Dispersal of uredospores of *Hemileia vastatrix* under field conditions. *Trans. Brit. mycol. Soc.* 45(2): 63-74.
- Bonilla, C.A.; Rivera, J.M.; Oseguera, S.H. 1984. Evaluación de diferentes programas de aspersión para el control químico de la roya del café. In 7 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana, San José, Costa Rica, 1-3 noviembre, 1984. Costa Rica, IICA. p. 10-16.
- _____; Tronconi, N. 1985. Evaluación de tres dosis y tres fungicidas cúpricos en el control químico de la roya del café en Santa Bárbara. In 2 Reunión Regional del PROMECAFE sobre el Control de la Roya del Café, Tegucigalpa, Honduras, 20-23 agosto, 1985. Honduras, IICA. p. 63-74.

- Bonilla, J.C. 1982. Evaluación de fungicidas sistémicos aplicados solos o asociados con oxiclورو de cobre en el combate de la roya del cafeto. In Resúmenes de Investigación sobre el Problema de la Roya del Cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), ISIAP, El Salvador. p. 57-64.
- _____. 1982. Evaluación de la eficiencia de fungicidas en el combate de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). In Resúmenes de Investigación sobre el Problema de la Roya del Cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), ISIAP, El Salvador. p. 65-69.
- _____. 1987. Dosis y modalidades de aspersión de fungicidas sistémicos y oxiclورو de cobre 50% Cu.M. en el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). In 3 Reunión Regional del PROMECAFE sobre el Control de la Roya del Cafeto, Boquete, Panamá, 6-9 mayo, 1986. Panamá, IICA. p. 106-123.
- _____.; Ceron, F.A. 1985. Evaluación de campo de tres formulaciones de cobre 50% cobre metálico contra la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) en El Salvador. In 2 Reunión Regional del PROMECAFE sobre el Control de la Roya del Cafeto, Tegucigalpa, Honduras, 20-23 agosto, 1985. Honduras, IICA. p. 174-185.
- Bowden, J.; Gregory, P.H.; Johnson, C.G. 1971. Possible wind transport of coffee leaf rust across the Atlantic ocean. Nature 229: 500-501.
- Butler, E.J. 1918. Fungi and disease in plants. Calcutta, Thacker, Spink and Co.
- Butler, D.R. 1977. Coffee leaf temperatures in a tropical environment. Acta Bot. Neer. 26(2): 129-140.
- Cadena-Gómez, G.; Buritica-Céspedes, P. 1980. Expresión de resistencia horizontal a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en *Coffea canephora* variedad Conilón. Cenicafé 31 (1): 3-27.
- Chalfoun, S.M.; Carvalho, V.D.; Adao, W.A. 1987. Efeito da produção e da composição química de folhas de cafeeiros sobre a intensidade de ataque de ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). In 14 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Campinas, Sao Paulo, Brasil, 1-4 diciembre 1987. Brasil, IBC. p. 121-122.
- Chaves, G.M. 1976. Melhoramento do cafeeiro visando à obtenção de cultivares resistentes à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Revista Ceres 23(128): 321-332.
- _____.; Cruz, J.F.; Carvalho, M.G.; Matsuoka, K.; Coelho, D.T.; Shimoya, C. 1970. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*): revisao de literatura com observações e comentario sobre a enfermidade no Brasil. Brasil, Seiva 30. 75 p.
- Comisión México-Guatemala para la Prevención y Control de la Roya del Cafeto. 1983. Manual para el control químico de la roya del cafeto. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 68 p.
- _____. 1987. Resultados epidemiológicos de la Comisión Roya durante cuatro años de estudio en Guatemala. In 3 Reunión Regional del PROMECAFE sobre el Control de la Roya del Cafeto, Boquete, Panamá, 6-9 mayo, 1986. Panamá, IICA. p. 16-30.

- Crowe, T.J. 1963. Possible vectors of the uredospores of *Hemileia vastatrix* in Kenya. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46(1): 24-26.
- De Jong, E.J.; Eskes, A.B.; Hoogstraten, J.G.J.; Zadoks, J.C. 1987. Temperature requirements for germination, germ tube growth, and appressorium formation of urediospores of *Hemileia vastatrix*. *Neth. J. Plant Path.* 93: 61-71.
- Echeverri, J.H. 1988. Desarrollo y reproducción de variedades con resistencia a la roya del cafeto. In PROMECAFE: diez años de labores 1978-1988, Costa Rica, IICA. p. 85-113.
- Eskes, A.B. 1982a. The use of leaf disk inoculations in assessing resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). *Neth. J. Pl. Pathol.* 88(4): 127-141.
- _____. 1982b. The effect of light intensity on incomplete resistance of coffee to *Hemileia vastatrix*. *Neth. J. Plant. Pathol.* 88(5): 191-202.
- _____. 1983. Incomplete resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*), Tesis de Ph.D., Agricultural University of Wageningen, Netherlands. 140 p.
- _____. 1989. Resistance. In *Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management*, ed. A.C. Kushalappa and A.B. Eskes, Florida, CRC Press. p. 171-291.
- _____.; Hoogstraten, J.G.J.; Levy, F.A., 1990. Segregación para la resistencia completa e incompleta a *Hemileia vastatrix* en Icatu y en algunos derivados del híbrido de Timor; consecuencias para el mejoramiento genético. In 13 *Colloque Scientifique International sur le Café*, Paipa, Colombie, 21-25 août 1989. France, ASIC. p. 666-673.
- _____.; Souza, E.Z., 1981. Ataque da ferrugem em ramos como sem produção, de plantas do cultivar catuaí. In 9 *Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, Sao Lourenzo, Minas Gerais, Brasil, 27-30 agosto, 1981. Brasil, IBC. p. 186-188.
- Flor, H.H. 1955. Host-parasite interaction in flax-rust, its genetics and other implications. *Phytopathology.* 45: 680-685.
- Fonseca, S.E. 1979. Resistencia nao especifica em cultivares de *Coffea arabica* L. e progeniesde Catimor a raças de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br.. Tesis M.Sc., UF Viçosa, Brasil. 42 p.
- Gálvez, G.C.; Flores, M.J.; Portillo, D. 1980. Determinación de razas fisiológicas de roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en El Salvador. San Salvador, El Salvador, Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. *Boletín Técnico* 4. 10 p.
- _____.; Montoya, M.; Córdova, M. 1982. Estudio epidemiológico de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en El Salvador. In 5 *Simposio Latinoamericano sobre Caficultura*, San Salvador, El Salvador, 20-22 octubre, 1982. Costa Rica, IICA. p. 121-141.
- Gaubiac, A.M. 1988. Relations entre surface foliaire et échanges gazeux chez le caféier. Tesis de DEA, USTL, Montpellier, France. 28 p.
- Gil, S.L. 1982. Determinación de la dosis óptima de oxiclورو de cobre 50% C.M. y óxido cuproso 50% C.M. para el combate de la roya del cafeto. In 5 *Simposio Latinoamericano sobre Caficultura*, San Salvador, El Salvador, 20-22 octubre, 1982. Costa Rica, IICA. p. 200-216.

- Gil, S.L. 1988. Recherches sur la résistance à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. de génotypes de *Coffea arabica* L. d'origines éthiopiennes. Tésis de Docteur-Ingénieur, ENSA, Montpellier, France. 124 p.
- _____.; Bautista Pérez, F. 1982. Evaluación de épocas y frecuencias de aplicación de oxiclóruo de cobre 50% y su persistencia activa en el área foliar para el combate de la roya del cafeto. In 5 Simposio Latinoamericano sobre Caficultura, San Salvador, El Salvador, 20-22 octubre 1982. Costa Rica, IICA. p 81-103.
- Gutiérrez Jiménez, M.; Carreón Zúñiga, M.A. 1982. Ante la roya del cafeto. México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Folleto Técnico 79. 45 p.
- Guzmán, O.; Gómez, L. 1987. Permanence of free water on coffee leaves. Expl. Agric. 23(2): 213-220.
- Holguín, F. 1985. Epidemiología de la roya del cafeto bajo diferentes condiciones ecológicas. In 2 Reunión Regional del PROMECAFE sobre el Control de la Roya del Cafeto, Tegucigalpa, Honduras, 20-23 agosto, 1985. Honduras, IICA. p. 150-158.
- _____. 1987a. Epidemiología de la roya del cafeto. In 3 Reunión Regional del PROMECAFE sobre el Control de la Roya del Cafeto, Boquete, Panamá, 6-9 mayo 1986. Panamá, IICA. p. 1-15.
- _____. 1987b. Estudios epidemiológicos de la roya del cafeto en México. In 10 Simposio Latinoamericano sobre Caficultura, Tapachula, Chiapas, México, 12-13 noviembre, 1987. Costa Rica, IICA. p. 32-39.
- _____. 1993. Contribution à la recherche d'une résistance durable du caféier (*Coffea* spp.) à la rouille orangée *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., Etude de la variabilité génétique du pathogène. Tesis de Doctorado, USTL, Montpellier II, France. 172 p.
- Hoogstraten, J.G.J.; Toma-Braghini, M.; Eskes, A.B. 1983. Influencia da umidade do solo e umidade relativa do ar sobre a resistencia do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*. In 10 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil, 29 agosto a 1 de septiembre, 1983. Brasil, IBC/GERCA. p. 110-111.
- Krause, R.A.; Massie, L.B. 1975. Predictive systems: modern approaches to disease control. Ann. Rev. Phytopathol. 13: 31-47.
- Kushalappa, A.C. 1981. Linear models applied to variation in the rate of coffee rust development. Phytopathol. Z. 101: 22-30.
- _____. 1989a. Introduction. In Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management. Ed. por A.C. Kushalappa y A.B. Eskes, Florida, CRC Press. p. 1-11.
- _____. 1989b. Biology and Epidemiology. In Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management. Ed. por A.C. Kushalappa y A.B. Eskes, Florida, CRC Press. p. 16-80.
- _____. 1989c. Rust management: an epidemiological approach and chemical control. In Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management. Ed. por A.C. Kushalappa y A.B. Eskes, Florida, CRC Press. p. 81-139.

- Kushalappa, A.C.; Akutsu, M.; Ludwig, A. 1983. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. *Phytopathology* 73: 96-103.
- _____; Akutsu, M.; Oseguera, S.H.; Chaves, G.M.; Melles, C.A.; Miranda, J.M.; Bartolo, G.F. 1984. Equations for predicting the rate of coffee rust development based on net survival ratio for manocyclic process of *Hemileia vastatrix*. *Fitopatología Brasileira* 9: 255-271.
- _____; Chaves, G.M. 1980. An analysis of the developpement of coffee rust in the field. *Fitopatologia Brasileira* 5: 95-103.
- Lamouroux, N.; Pellegrin, F.; Nandris, D.; Kohler, F. 1995. The *Coffea arabica* fungal pathosystem in New Caledonia: Interactions at two different spatial scales. *J. Phytopathology* 143: 403-413.
- Leguizamón, J. 1983. Contribution à la connaissance de la résistance incomplète du caféier à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Tesis de Doctorado, ENSA, Montpellier, France. 184 p.
- Leppik, E.E. 1970. Genes centers of plants as sources of disease resistance. *Ann. Rev. Phytopathol.* 8(3514): 323-344.
- Mansk, Z.; Matiello, J.B. 1984. Efeito da produção, nível de desfolha e inóculo residual sobre a evolução da ferrugem do cafeeiro no estado do Espírito Santo. In 11 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Londrina, 22-25 outubro 1984. Brasil, IBC. p. 128-130.
- _____; Matiello, J.B.; Almeida, S.R. 1978. Efeito da aplicação do fungicida Bayleton associado ao oxicleto de cobre a diferentes ∞ de aplicações no controle da ferrugem do cafeeiro, (*H.vastatrix*, Berk et Br.). In 6 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Riberão Preto, São Paulo, 24-27 outubro 1978. Brasil, IBC. p. 339-341.
- Mayne, W.W. 1930. Seasonal periodicity of coffee leaf disease (*Hemileia vastatrix* B. & Br.). *Bull. Mysore Coffee Exp. Sta.* 4:1-16.
- _____. 1932. Physiological specialization of *Hemileia vastatrix* B. and Br.. *Nature* 129(3257): 510.
- _____. 1939. A note on the origin of attacks of leaf disease (*Hemileia vastatrix*) in coffee estates. *Planters Chronicle* 34(14): 417.
- McCain, J.W.; Hennen, F. 1984. Development of uredinial thallus and sorus in the orange coffee rust fungus *Hemileia vastatrix*. *Phytopathology* 74: 714-721.
- Monterroso, D. 1995. El manejo integrado de plagas y enfermedades como componente de la agricultura sostenible. *Boletín de PROMECAFE* 68: 9-12.
- Moraes, S.A. de; Sugimori, M.H.; Ribeiro, I.J.A.; Ortolani, A.A.; Pedro, J.R.M.J. 1976. Período de incubação de *Hemileia vastatrix* Berk et Br. em tres regiões do estado de São Paulo. *Summa Phytopathologica* 2(1): 32-38.
- Moreno de Alas, G. 1985. Evaluación de la influencia de las variables climáticas en el comportamiento epidemiológico de la roya del café en una zona climática de El Salvador. In 8 Simposio Latinoamericano sobre Caficultura, Granada, Nicaragua, 3-4 noviembre, 1985. Costa Rica, IICA. p. 165-172.

- Moreno de Alas, G. 1990. Estudio de la epidemiología de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. en cafetal ecológicamente clasificado como "bosque muy húmedo subtropical". In Taller Regional sobre Epidemiología, Control Químico de la Roya y Otras Enfermedades del Café, Tegucigalpa, Honduras, 15-17 mayo, 1989. Guatemala, IICA. p. 17-32.
- Muller, R.A. 1971. La rouille orangée du caféier (*Hemileia vastatrix*) sur le continent américain. *Café Cacao Thé* 15(1): 24-30.
- _____. 1980. Contribution à la Connaissance de la Phycomycocénose, *Coffea arabica* L., *Colletotrichum coffeanum* Noack sensu Hindorf, *Hemileia vastatrix* B. et Br., *Hemileia coffeicola* Maublanc et Roger. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris VI, 1978. 174 p.
- _____. 1984. Quelques réflexions à propos de la sélection de variétés de caféiers résistants à la rouille orangée (*Hemileia vastatrix* B. et Br.). *Café Cacao Thé* 28(1): 17-42.
- _____.; Njomou, S.E.; Lotode, R. 1969. Appréciation de l'efficacité des fongicides contre la pourriture brune des cabosses du cacaoyer due au *Phytophthora palmivora* (Butl.) dans des conditions naturelles. Essai de mise au point d'une méthode rapide. *Café Cacao Thé* 13(1): 34-54.
- Musumeci, M.R.; Moraes, W.B.C.; Staples, R.C. 1974. A self-inhibitor in uredospores of the coffee rust fungus. *Phytopathology* 64: 71-73.
- Muthappa, B.N. 1980. Behaviour of *Hemileia vastatrix* during unfavourable weather. *J. Coffee Res.* 10(2): 31-35.
- Nutman, F.J.; Roberts, F.M. 1962. Coffee berry disease and leaf rust research. *Kenya Coffee* 27: 273-279.
- _____.; Roberts, F.M. 1963. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46(1): 27-48.
- _____.; Roberts, F.M.; Bock, K.R. 1960. Methods of uredospore dispersal of the coffee leaf rust fungus, *Hemileia vastatrix*. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 43(3): 509-515.
- Oseguera, S.H. 1991. Epidemiología de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en dos zonas cafetaleras de Honduras, C.A.. Honduras, IICA. 59 p.
- _____.; Bonilla, C.A.; Herrera, J.S. 1982. Evaluación de diferentes dosis y frecuencias de aspersión de un fungicida cúprico en el control de la roya del café. In V Simposio Latinoamericano sobre Caficultura, San Salvador, El Salvador, 20-22 octubre, 1982. Costa Rica, IICA. p. 111-116.
- Palma, M.R.; Oseguera, S.H. 1985. Evaluación de programas de aspersión para el control de la roya del cafeto en Olancho. In 2 Reunión Regional del PROMECAFE sobre el Control de la Roya del Cafeto, Tegucigalpa, Honduras, 20-23 agosto, 1985. Honduras, IICA. p. 20-45.
- _____.; Pineda, C.R.; Tronconi, N.M. 1990. Determinación de dosis óptimas de tres formulaciones de cobre, en el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.) en el departamento de Olancho. In Taller Regional sobre Epidemiología, Control Químico de la Roya y Otras Enfermedades del Café, Tegucigalpa, Honduras, 15-17 mayo, 1989. Guatemala, IICA. p. 77-97.

- Rapidel, B. 1995. Etude expérimentale et simulation des transferts hydriques dans les plantes individuelles; application au caféier (*Coffea arabica* L.). Tesis de Ph.D., Université Montpellier II. 245 p.
- Rayner, R.W. 1961a. Spore liberation and dispersal of coffee rust *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. *Nature* 191(4789): 725.
- _____. 1961b. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.). *Ann. Appl. Biol.* 49: 497-505.
- _____. 1972. Micología, Historia y Biología de la roya del café. Costa Rica, IICA-CATIE, Publicación Miscelánea 94. 68 p.
- Ribeiro, I.J.A.; Monaco, L.C.; Tisselli Filho, O.; Sugimori, M.H. 1978. Efeito de alta temperatura no desenvolvimento de *Hemileia vastatrix* em cafeeiro suscetível. *Bragantia* 37(2): 11-16.
- Rodríguez Jr., C.J.; Bettencourt, A.J.; Rijo, L. 1975. Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Ann. Rev. Phytopathol.* 13: 49-70.
- _____.; Varzea, V.M.P.; Godinho, I.L.; Palma, S.; Rato, R.C. 1993. New Physiological races of *Hemileia vastatrix*. In 15 Colloque Scientifique International sur le Café, Montpellier, France, 6-11 juin 1993. Paris, France. p. 318-321.
- Saccas, A.M.; Charpentier, J. 1971. La rouille des caféiers due à *Hemileia vastatrix*. France, *Bulletin IFCC* 10. 123 p.
- Santacreo, R. 1989. Evaluación del nivel de resistencia horizontal a *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. en germoplasma de *Coffea arabica* L. y Catimor. *Turrialba* 39(3): 377-386.
- _____.; Aguilar, C.A.; Rivera, J.M. 1985. Evaluación de diferentes programas de aspersión para el control químico de la roya del café en La Paz. In 2 Reunión Regional del PROMECAFE sobre el Control de la Roya del Café, Tegucigalpa, Honduras, 20-23 agosto, 1985. Honduras, IICA. p. 1-19.
- _____.; Pineda, C.; Suazo, G.; Zaldívar, R. 1995. Síntesis de híbridos Catuaí x Catimor buscando productividad, adaptabilidad y resistencia a la roya *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. In 5 Seminario Nacional de Investigación y Transferencia en Caficultura, Tegucigalpa, Honduras, octubre 1995. Honduras, IH-CAFE. p. 254-268.
- _____.; Polanco, E.; Oseguera, S. 1983. Período de incubación y generación de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. en tres zonas cafetaleras de Honduras, Centro América. In 6 Simposio Latinoamericano sobre Caficultura, Panamá, Panamá, 24-25 noviembre, 1983. Costa Rica, IICA. p. 109-127.
- _____.; Reyes, E.; Oseguera, S. 1983. Estudio del desarrollo de la roya del café *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. y su relación con factores biológicos y climáticos en condiciones de campo en dos zonas cafetaleras de Honduras, C.A. In 6 Simposio Latinoamericano sobre Caficultura, Panamá, Panamá, 24-25 noviembre, 1983. Costa Rica, IICA. p. 199-213.
- Savary, S. 1987a. Enquête sur les maladies fongiques de l'arachide (*Arachis hypogaea*) en Côte d'Ivoire. I. Méthodes d'enquête et étude descriptive: les conditions culturales et les principales maladies. *Neth. J. Pl. Path.* 93: 167-188.

- Savary, S. 1987b. Enquête sur les maladies fongiques de l'arachide (*Arachis hypogaea*) en Côte d'Ivoire. II. Epidémiologie de la rouille de l'arachide (*Puccinia arachidis*). Neth. J. Pl. Path. 93: 215-231.
- _____; Elazegui, F.A.; Moody, K.; Litsinger, J.A.; Teng, P.S. 1994. Characterization of rice cropping practices and multiple pests systems in the Philippines. Agricultural Systems 46: 385-408.
- Schuppener, H.; Harr, J.; Sequeira, F.; González, A. 1977. First occurrence of the coffee leaf rust *Hemileia vastatrix* in Nicaragua, 1976, and its control. Café Cacao Thé 21(3): 197-202.
- Seng, J.M.; Barchietto, T. 1996. Pour une approche scientifique des réduction de dose de fongicides. Phytoma. 481: 26-28.
- Shaw, D.E. 1968. Coffee outbreaks in Papua from 1892 to 1965 and the 1965 campaign. Papua and New Guinea Dept. Agric. Stock & Fish. Res. Bull. 2: 20-52.
- Silva-Acuña, R. 1990. Control químico de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) con el uso de un fungicida sistémico y uno protector. Fitopatología venezolana 3 (2): 22-27.
- Tarjot, M.; Lotode, R. 1979. Contribution à l'étude des rouilles orangée et farineuse du caféier au Cameroun. Café Cacao Thé 23(2): 103-118.
- Toledo, J.C.; Avelino, J.; Medina, B. 1995. Evaluación de fungicidas para el control de la roya *Hemileia vastatrix* en el cultivo del café. In 16 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana, Managua, Nicaragua, 25-29 octubre, 1993. Honduras, IICA. Sin número de páginas.
- Tronconi, N.; Escoto, J.A. 1990. Eficiencia de triadimenol en el control químico de la roya del cafeto en Honduras. In 11 Simposio de Caficultura Latinoamericana, San Salvador, El Salvador, 5-6 diciembre, 1988. Costa Rica, IICA. p. 115-131.
- _____; Palma, M.R.; Suazo, G.; Zaldívar, R.; Agurcia, R.D. 1995. Período de incubación y generación de *Hemileia vastatrix* Berk & Br. en Honduras. In 5 Seminario Nacional de Investigación y de Transferencia en Caficultura, Tegucigalpa, Honduras, octubre 1995. Honduras, IHCAFE. p.165-173.
- Ubeda, R.A. 1995. Control de la roya del cafeto. Matagalpa, Nicaragua, Unicafé, 6 p. Documento interno.
- Vasudeva, N.; Gopal, N.H. 1975. Studies on leaf growth, V. The life span of coffee leaves in south India. Indian Coffee 39: 171-174.
- Viennot-Bourgin, G. 1985. La naissance de la bouillie bordelaise. Phytoma. 371: 22-23.
- Villegas-García, C.; Baeza-Aragón, C.A. 1990. Diseminación de *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. a nivel del árbol, en un foco natural. Cenicafé 41(2): 39-49.
- Waller, J.M. 1972. Coffee rust in Latin America. PANS 18(4): 402-408.
- Wellman, F.L. 1952. Peligro de introducción de la *Hemileia* del café a las Américas. Turrialba 2(2): 47-50.
- _____. 1970. Announcement. Rust of coffee in Brazil. Plant Dis. Report 54 (5): 355.
- Zadoks, J.C.; Schein, R.D. 1979. Epidemiology and Plant Disease Management. Oxford University Press. 427 p.

CAPÍTULO 7

EL OJO DE GALLO DEL CAFETO (*MYCENA CITRICOLOR*)

Amy Wang*, Universidad de Costa Rica
Jacques Avelino, CIRAD-CP/IICA-PROMECAFE

1 Introducción

El ojo de gallo del cafeto fue descubierto en Colombia por C. Michelsen en 1880 (Ernst, 1880). En 1881, Cooke lo identificó como *Stilbum flavidum* Cke. a partir de hojas enfermas provenientes de Venezuela y Costa Rica. Luego de estos primeros informes, la enfermedad fue encontrada en todas las áreas cafetaleras del Continente Americano y de ahí su nombre en inglés: "American leaf spot of coffee".

En 1914, Maublanc y Rangel describieron la fase perfecta: un pequeño hongo en forma de sombrilla color amarillo brillante. El patógeno fue clasificado entonces como un Basidiomycete, bajo el nombre de *Omphalia flavida*. Ashby (1925) comprobó, a nivel de laboratorio, mediante cultivos en medio artificial, que el *S. flavidum* descrito por Cooke y el *O. flavida* de Maublanc y Rangel provenían del mismo micelio y por lo tanto eran el mismo hongo. Dennis (1950), al examinar muestras de *Agaricus citricolor* Berk. & Curt., encontró que se trataba del mismo hongo. Llegó a la conclusión de que *A. citricolor* era una especie de *Mycena* y sugirió el nombre de *Mycena citricolor*. Este es el binomio aceptado en la actualidad.

* CIPROC, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Fax: (506) 207-4141. Correo electrónico: awang@cariari.ucr.ac.cr

Taxonómicamente, es un miembro de la Clase Basidiomycete, subclase Homobasidiomycete, orden Agaricales y familia Agaricaceae.

M. citricolor posee un amplio rango de hospederos. Existen más de 550 especies de plantas que son susceptibles a ser atacados por este hongo (Buller, 1934; Sequeira, 1958; Wellman, 1972), sin embargo, se considera que el cafeto es la única especie de importancia comercial.

2 Morfología

Las hifas de *M. citricolor* son las típicas de un hongo basidiomycete, cuyas células son generalmente binucleadas y presentan fíbulas (Sequeira, 1952).

El hongo produce dos tipos de cuerpos fructíferos: la gema o cabecita (asexual) y el basidiocarpo (sexual) (foto 7-1). Las gemas o cabecitas son pequeñas estructuras de color amarillo en forma de alfiler, que le permiten al patógeno diseminarse. Constan de dos partes: un pedicelo y una cabeza, la cual se desprende fácilmente cuando está madura. Su formación depende de la presencia de luz (Buller, 1934). Rodríguez (1965) y Rodríguez y Arny (1967) encontraron que la máxima producción de cabecitas y del pigmento amarillo de las mismas, se da cuando el hongo se expone a longitudes de onda de 310-400 nm. Además, al colocar hojas enfermas en la oscuridad, no hay formación de cabecitas.

El basidiocarpo, que es más grande que la gema, produce y libera una gran cantidad de basidiosporas (Maublanc y Rangel, 1914). En condiciones de campo, es difícil encontrar este estado. Salas y Hancock (1972) estudiaron el efecto de algunos hongos saprófitos en la inducción de la formación de los basidiocarpos y encontraron que varias especies de *Penicillium* Link ex Fr., especialmente *P. oxalicum*, son capaces de actuar como inductores.

Buller y Vanterpool (1926) descubrieron que tanto el micelio como las gemas o cabecitas de *M. citricolor* producían luminiscencia. Esta emisión de luz estaba presente únicamente cuando el micelio estaba en crecimiento activo. Según Wellman (1972), la luminiscencia en lesiones jóvenes había sido observada desde 1878, por lo que la enfermedad era conocida también como "candelilla".



Foto 7-1. Lesión causada por *Mycena citricolor*. Nótese la presencia de basidiocarpos (estado sexual) en forma de sombrilla (a) y cabecitas (b) (estado asexual).



Foto 7-2. Cerezas de café que muestran lesiones provocadas por *Mycena citricolor* con presencia de cabecitas o gemas.

3 Síntomas y Diseminación del Patógeno

La enfermedad se caracteriza por la formación de pequeñas manchas (6-10 mm de diámetro) en las hojas. Estas lesiones, por lo general, son circulares, pero a veces pueden ser ovaladas debido a la delimitación con las venas, o algo irregulares cuando dos o más manchas se fusionan. Las lesiones jóvenes son oscuras y las viejas de color más claro (crema). Con la llegada de la época seca, el tejido enfermo se cae (Buller, 1934; Wellman, 1950). Vargas *et al.* (1985) observaron en Costa Rica, que en algunas ocasiones las lesiones jóvenes, en vez de mostrar la coloración característica, permanecían de un color gris oscuro a negro y a veces rojizo. Wang (1988) estudió la posibilidad de que estas variaciones en color fueran producidas por razas diferentes del mismo hongo, sin embargo, los resultados no fueron lo suficientemente claros como para confirmar dicha hipótesis.

El efecto de la enfermedad sobre los rendimientos se debe principalmente a la defoliación. La defoliación no depende tanto del número de lesiones por hoja, sino de la ubicación de las mismas, ya que una lesión en la vena central, cerca de la base de la hoja, causa epinastia en hojas jóvenes y caída prematura en hojas adultas (Sequeira y Steeves, 1954; Wellman, 1950). Sequeira y Steeves (1954) encontraron que este fenómeno se debía a la presencia de una enzima oxidativa que impide el flujo normal de auxinas desde la lámina de la hoja al pecíolo. Estos descubrimientos fueron confirmados por Ray (1956) y Ray y Timann (1956), pero no pudieron identificar cuál era la enzima. Más adelante, Ray (1960) sugirió que podía tratarse de una peroxidasa; sin embargo, Rodríguez (1965) encontró una oxidasa del ácido indolacético.

El patógeno puede atacar ramas jóvenes y frutos, en donde provoca una pequeña decoloración. Si el ataque es severo, la cereza puede caerse. No hay evidencia de que haya transmisión por semilla (Buller, 1934; Wellman, 1950).

En condiciones climáticas muy húmedas se producen, sobre la superficie de las lesiones, cabecitas o gemas, que una vez maduras, se desprenden por la acción de las gotas de lluvia que las transportan a hojas adyacentes. Se ha observado que existe una gradiente de dispersión horizontal, la cual puede alcanzar hasta 170 cm. Las cabecitas por lo general caen sobre el haz de las hojas, en donde quedan adheridas por medio de una sustancia mucilaginosas. Si hay suficiente humedad o presencia de agua libre, germinan produciendo una gran cantidad de hifas de infección, las cuales penetran la epidermis y atacan el tejido interno (Buller, 1934).

4 Infección

Ashby (1925) descubrió la presencia de cristales tetrahédricos perfectos de oxalato de calcio en el medio de cultivo debajo de las colonias de *M. citricolor*. Mucho tiempo después, Rao *et al.* (1985) volvieron a observarlos, tanto en los puntos de infección como en el tejido necrótico, lo cual dio lugar a la sospecha de que dichos cristales jugaban un papel importante en la patogénesis del hongo. El ácido oxálico es liberado antes de la penetración, de manera que "captura" el calcio de las paredes celulares del hospedero provocando que el tejido afectado se debilite, permitiendo así la entrada de la hifa. Ante la sospecha de que las lesiones iniciales son causadas por un descenso en el pH, se probaron soluciones de ácido sulfúrico a diferentes concentraciones, observándose el mismo tipo de lesión. Bertrand (no publicado) encontró el mismo tipo de lesión con una solución de 8-10 g/l de ácido oxálico.

De acuerdo a estos resultados, se cree que, al menos en una fase inicial, la lesión causada por *M. citricolor* es consecuencia de una disminución en el pH debido a la presencia del ácido oxálico. Esta disminución puede también activar ciertas enzimas como la oxidasa del ácido indolacético, celulasa y poligalacturonasa, que pueden contribuir aún más a la desintegración del tejido (Rao y Tewari, 1987).

5 Epidemiología

Generalmente se considera que el ojo de gallo es una enfermedad importante en plantaciones viejas, que jamás han sido podadas, o en plantaciones establecidas bajo sombra excesiva. En ciertas zonas ecológicas, sin embargo, principalmente donde hay una fuerte precipitación y pocas horas de sol, la enfermedad puede desarrollarse sin la presencia de sombra.

Estudios realizados por Bonilla en El Salvador (1979), por Vargas *et al.* en Costa Rica (1986) y por Avelino *et al.* en Guatemala (1995), demuestran que el desarrollo de la enfermedad depende de la fluctuación estacional de la lluvia y la humedad relativa. Una vez que las lluvias empiezan, el número de hojas enfermas y el número de lesiones por hoja aumentan rápidamente. Poco tiempo después se inicia la producción de cabecitas o gemas que, una vez maduras, son desprendidas de su pedicelo y son acarreadas por las gotas de lluvia a hojas cercanas. Wellman (1972) encontró que, dadas las condiciones necesarias, la cabecita puede germinar dentro

de la primera hora después de haber sido depositada sobre la superficie de la hoja. También encontró que el viento casi no tiene efecto sobre la diseminación, dado el gran tamaño de las cabecitas.

En Costa Rica, el pico de infección ocurre en setiembre–octubre, lo cual coincide con los meses de mayor precipitación. La enfermedad empieza a decaer en diciembre y los niveles más bajos se dan en febrero, marzo, abril y mayo, que es la época más seca del año. Sin embargo, en algunas áreas, especialmente cerca de zonas boscosas, puede haber un fuerte rocío, que permite que la enfermedad continúe su desarrollo aún durante este período.

A pesar de que se considera que el nivel de inóculo primario no juega un papel preponderante en enfermedades de ciclo múltiple, estudios realizados en Costa Rica (Vargas *et al.*, 1990) demuestran que, en el caso de ojo de gallo, éste sí es importante, pues mientras más alto es, más rápidamente se alcanza el pico de infección, llegando a causar pérdidas severas o totales. En la figura 7-1 se observa que para mayo de 1985, el inóculo residual, determinado como el porcentaje de lesiones que son capaces de producir cabecitas o gemas, fue de 3.75%. El nivel de enfermedad aumentó gradualmente durante la época lluviosa, hasta alcanzar un máximo en diciembre, con 85.16% (figura 7-2). Al año siguiente (1986), el inóculo residual durante el mes de mayo fue de un 28% (figura 7-1), lo que provocó que el nivel de enfermedad se mantuviera alto durante todo el año (figura 7-2). Es de señalar que existe una correlación positiva entre el inóculo residual (medido como porcentaje de hojas con lesiones) y el porcentaje de lesiones capaces de producir cabecitas al inicio de la estación lluviosa. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Avelino *et al.* (1995) quienes observaron un adelanto en el desarrollo de la epidemia en los cafetales que presentaban mayor cantidad de inóculo residual. Este último fue cuantificado como el número de hojas viejas con lesiones (hojas nacidas en el año “n-1”) observadas en el mes de junio del año “n”. Con base en estos resultados, se concluyó que el combate químico de la enfermedad debería comenzar con un fungicida sistémico para reducir dicho inóculo.

6 Combate

La enfermedad es capaz de causar serias pérdidas económicas. En Guatemala, Avelino *et al.* (1995) determinaron que, cuando la enfermedad es severa, las disminuciones en rendimiento se dan desde el primer año

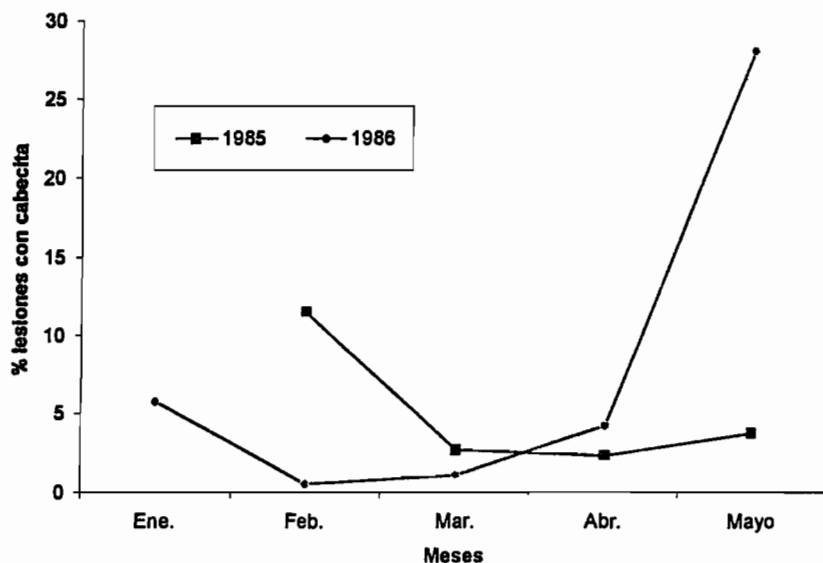


Figura 7-1. Inóculo residual de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en Turrialba, Costa Rica.

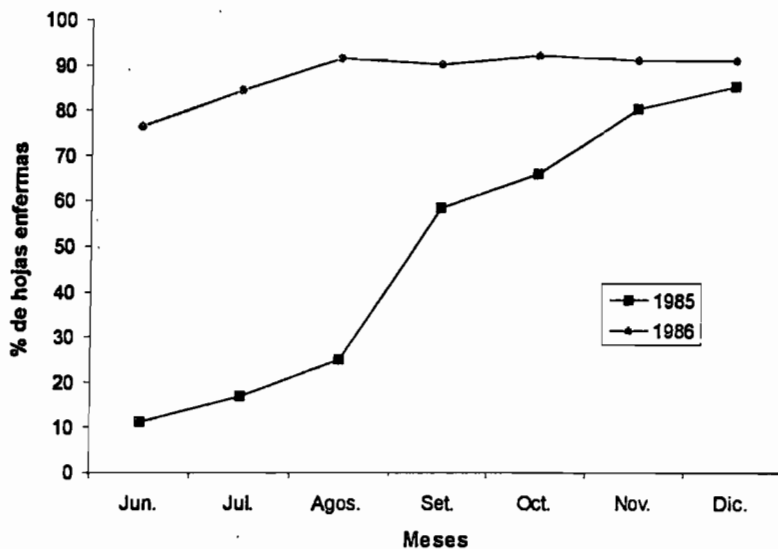


Figura 7-2. Curvas de desarrollo de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafeto durante los años 1985 y 1986 en Turrialba, Costa Rica (Vargas *et al.*, 1990).

de la epidemia, lo cual se puede considerar como pérdidas primarias. Este fenómeno puede explicarse por el hecho de que la enfermedad afecta también los frutos (foto 7-2 y figura 7-3), provocando la caída de los mismos. Por otra parte, la defoliación causada por la enfermedad induce una pérdida secundaria (los efectos se observan sobre la producción del año siguiente). Con una incidencia de 49%, las pérdidas primarias fueron de 1.3 kg de café cereza por planta, comparado con una producción de 6.9 kg si las plantas hubiesen estado libres de la enfermedad. Para este mismo nivel de infección, se calcularon pérdidas secundarias de 3.9 kg en plantas que hubieran producido en el segundo año 7.8 kg si hubiesen permanecido sanas en el primero. En total, una pérdida del 35.4% (5.2 kg de café cereza por planta) es suficiente como para justificar el empleo de fungicidas.

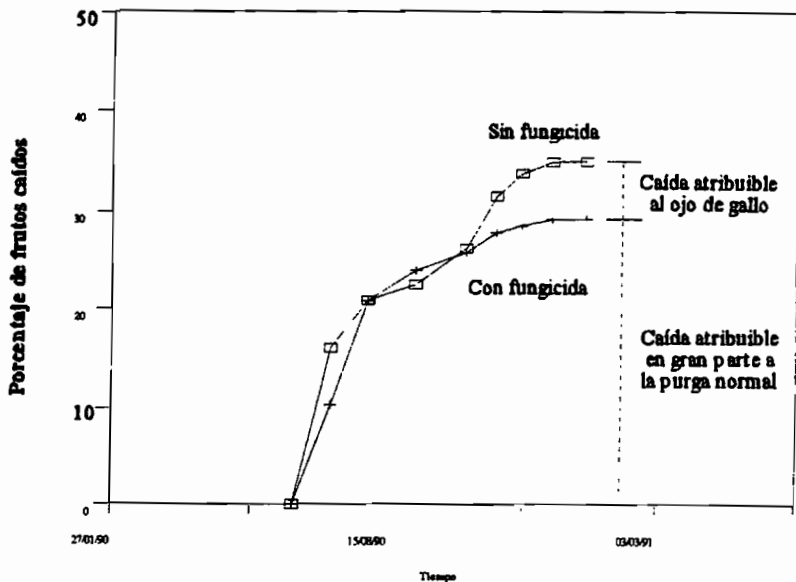


Figura 7-3. Evolución del porcentaje de frutos caídos, con y sin fungicida, en una plantación de Guatemala ubicada a 1200 m de altitud e infectada por el ojo de gallo.

Fuente: Según Avelino *et. al.*, 1995.

6.1 Combate químico

Uno de los primeros fungicidas que se encontró que tenía algún efecto sobre la enfermedad, fue el caldo bordelés (hidróxido de calcio + sulfato de cobre) (Carvajal, 1939). Sin embargo, los productos cúpricos no representaban una buena alternativa durante los meses de mayor precipitación, lo que propició la búsqueda de otras alternativas químicas. Echandi (1956) encontró que, bajo condiciones de laboratorio, los productos basados en mercurio inhibían la formación de las cabecitas o gemas. Al efectuar las pruebas de campo, Echandi y Segall (1958) encontraron una respuesta similar. Desdichadamente, se detectaron residuos tóxicos de mercurio en las cerezas.

La utilización del arseniato de plomo como una posible medida de combate fue sugerida desde 1952. En 1957, Castaño lo recomendó oficialmente en Colombia, basado en los resultados obtenidos en las pruebas de campo y en el hecho de que, aparentemente, no había traslocación de compuestos tóxicos al fruto. Esta noticia se difundió rápidamente, y así, otros países empezaron a evaluar el fungicida, obteniéndose resultados similares (Bianchini *et al.*, 1958; Salas, 1960; Díaz y Nápoles, 1961). Pronto, su uso era generalizado, aún cuando Pereira y Echandi (1964) encontraron residuos de arsénico tanto en hojas como en frutos, que sin embargo, eran menores a los límites de tolerancia establecidos en ese entonces por los Estados Unidos. Años más tarde, el producto fue prohibido debido a su toxicidad para los humanos, lo cual hizo que toda la investigación, en cuanto a combate químico, se orientara a la búsqueda de nuevos productos sistémicos y curativos tales como el ciproconazole y el hexaconazole (Chávez, 1990; Riveiro, 1990).

A pesar de los buenos resultados obtenidos con estos fungicidas, no se dejó la investigación relacionada con el caldo bordelés por dos razones principales (Avelino *et al.*, 1992). Por un lado, al contrario de los productos sistémicos, los cuales son muy específicos en su modo de acción y por lo tanto presentan el inconveniente de que si son mal utilizados, el patógeno puede desarrollar resistencia, los fungicidas protectores y curativos, como el caldo bordelés, no presentan esa desventaja. Por otro lado, los estudios realizados en Canadá evidencian el papel del calcio (componente del caldo bordelés) en la relación *M. citricolor* y cafeto. El patógeno, en efecto, penetra el tejido del hospedero mediante la secreción de ácido oxálico, el cual secuestra el calcio de los pectatos de las paredes celulares. La disminución en pH activa las enzimas que digieren la pared celular (Rao y Tewari, 1987).

Como se mencionó anteriormente, en un inicio, se utilizaba el caldo bordelés para el combate del ojo de gallo en cafeto. Sin embargo, su poca persistencia sobre el tejido durante los meses de mayor precipitación resultaba en un combate deficiente de la enfermedad. Para aumentar la persistencia, Avelino *et al.* (1992) prepararon un caldo bordelés alcalino (exceso de cal en el caldo), basándose en los resultados obtenidos contra la roya por Muthappa y Bakre en India (1976), con la idea adicional de que la alcalinidad podría ayudar a neutralizar la toxina del hongo, y comprobaron que la fórmula 1.5-2-100¹ era eficiente contra el ojo de gallo. Hay que señalar que el hidróxido de calcio por sí solo no presenta esta cualidad de persistencia (Vargas *et al.*, 1990). Después de probar varias mezclas de sulfato de cobre e hidróxido de cal, la fórmula anterior resultó tener la mejor relación costo/eficacia e incluso un menor costo que los triazoles (Medina, 1996). Ultimamente, estudios llevados a cabo en Costa Rica por Mora (1997), confirman que la aplicación de los caldos debe efectuarse a un pH cercano a 8.

Basado en el hecho de que *M. citricolor* produce ácido oxálico, los investigadores de la Universidad de Costa Rica, se dieron a la tarea de probar, bajo condiciones de ampo, diferentes formulaciones de cal con el fin de neutralizar dicho ácido (Vargas *et al.*, 1991). Con base en los resultados obtenidos, la industria de agroquímicos formuló un fungicida protector basado en carbonato de calcio, el cual está suspendido en aceite mineral tipo parafínico, lo cual le permite adherirse mejor al tejido.

Buscando una vez más evitar el contacto del ácido oxálico con la superficie de la hoja, Ramírez (1994) evaluó el uso de sustancias que fueran capaces de formar una barrera física sobre las mismas. Para esto, probó un antitranspirante, un adherente y un extracto acuoso de hojas de *Cecropia* sp. (guarumo). Los resultados indican que todos los tratamientos fueron igualmente efectivos en reducir la infección respecto al testigo absoluto, tanto en el número de lesiones como en el tamaño de las mismas.

Conviene sin embargo recordar que, a causa del inóculo residual, es recomendable empezar el combate de la enfermedad a inicios de la época lluviosa con un producto sistémico para luego continuar con fungicidas protectores.

1 1.5 kg de sulfato de cobre, 2.0 kg de hidróxido de calcio en 100 litros de agua.

6.2 Combate cultural

El patógeno depende en gran medida de la presencia de agua libre, por lo tanto, cualquier práctica cultural tendiente a reducir la humedad dentro del cafetal, tenderá a reducir también la enfermedad. Entre las prácticas que se pueden llevar a cabo, se pueden mencionar la regulación de la sombra, la poda por surco, la deshija y la deshierba. Esta última práctica permite la eliminación del inóculo de los hospederos alternos presentes entre la maleza. El combate cultural no es tan simple como parece, pues ninguna práctica es totalmente efectiva si el sol no logra penetrar adecuadamente en el cafetal por una u otra razón. Por ejemplo, el éxito de la poda cíclica dependerá en gran medida de la orientación de los surcos: la orientación este-oeste es evidentemente la más favorable pues permite una mayor penetración del sol. Al contrario, una pendiente pronunciada de este (parte alta) a oeste (parte baja) complicaría en gran medida el combate cultural, ya que la parcela estaría sombreada la mayor parte del tiempo: en la mañana ésta estaría bajo la sombra creada por la misma ladera y en la tarde posiblemente bajo una densa nubosidad.

Aunque la eficiencia del combate cultural no es absoluta, sí contribuye a mejorar el combate químico. En Guatemala, Avelino *et al.* (1992) observaron que la incidencia de la enfermedad oscilaba entre un 8 y 18% en surcos aledaños a surcos recién podados, mientras que la incidencia subía a un 44% en los surcos cuyos vecinos no habían sido podados (figura 7-4). Lo anterior llevó a sugerir que el combate químico podría dirigirse, con preferencia, a estos últimos surcos, donde se presentaba la mayor incidencia, ahorrando de esta manera hasta un 50% del costo del combate. Es necesario aclarar que la técnica de poda por surco es una práctica que se integra fácilmente a las prácticas culturales utilizadas por el productor y que es más recomendable que la poda por lote en caso de fuertes pendientes para reducir la erosión (ver capítulo 3).

6.3 Combate biológico

En Costa Rica, se han efectuado numerosos estudios sobre el combate biológico del ojo de gallo utilizando *Trichoderma* spp. y se ha encontrado que el hongo inhibe la formación de cabecitas y además, utiliza las ya formadas como sustrato, logrando así disminuir el potencial de diseminación del patógeno. Sin embargo, el problema principal de su

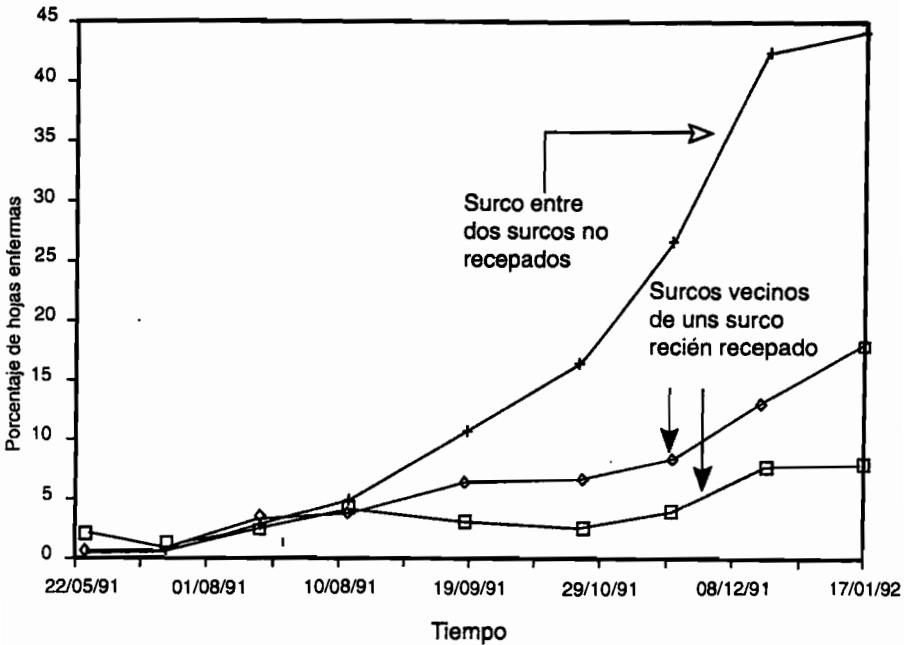


Figura 7-4. Efecto de la recepa por surco sobre la incidencia de ojo de gallo en una plantación de Guatemala ubicada a 1200 m de altitud.

Fuente: Según Avelino *et al.*, 1992.

implementación comercial radica en el hecho de que existen muchos ecotipos diferentes que logran establecerse en sólo ciertos agroecosistemas (Arroyo, 1975; Páez, 1976; Vargas, 1984 y Curling, 1986).

Mora *et al.* (1989) aislaron bacterias que fueron capaces de afectar directamente las cabecitas ya formadas e inhibieron la formación de éstas. Además, se determinó que el suelo de turba era un buen acarreador de la bacteria. Estos resultados fueron llevados al campo por Calvo y Vargas (1989) quienes encontraron una eficacia relativamente elevada al mezclar las mismas bacterias con almidón como adherente. Más adelante, Quesada (1996) determinó la efectividad de la bacteria en el campo y encontró que cuando se aplica al inicio del período lluvioso y en condiciones de bajo nivel de infección, ésta logra establecerse y multiplicarse sin dificultad. Al intentar probarlo bajo condiciones de alta presión de inóculo, los resultados obtenidos no coincidieron con lo esperado. Estudios a nivel de laboratorio revelaron que la bacteria había mutado y por lo tanto,

perdido su capacidad parasítica. Desgraciadamente, no se logró recuperar la bacteria original y por lo tanto las pruebas fueron suspendidas, así como la idea inicial de producirla comercialmente, ya que no había garantía de que la bacteria conservara su capacidad parasítica.

6.4 Combate por resistencia

M. citricolor es un hongo sumamente polífago. Además, su origen americano implica que no es un patógeno que ha coevolucionado con el café. Lo anterior hace que las posibilidades de identificar alguna fuente de resistencia específica sean prácticamente inexistentes. Ese no parece ser el caso de la resistencia no específica o incompleta, pues de hecho, de acuerdo a los agricultores y a los mismos técnicos, los Catimores son más susceptibles que los Catuai (Aguilar, 1995; Chávez, 1997).

Núñez *et al.* (1995) desarrollaron una metodología para estimar la resistencia genética a nivel de laboratorio (resistencia a la penetración y resistencia a la fructificación) (foto 7-3) sin necesidad de practicar heridas. Mediante esta metodología se observó que los Catimores presentaban



Foto 7-3. Reproducción de lesiones de ojo de gallo sobre hojas enteras sin heridas previas en condición de laboratorio (Benoît Bertrand).

una mayor resistencia a la penetración pero permitían la producción de un mayor número de fructificaciones comparado con el Catuaí. Este último aspecto podría explicar las diferencias observadas a nivel de campo. Algunos ajustes posteriores de la metodología permitieron efectuar las evaluaciones bajo condiciones muy cercanas al óptimo para el patógeno. Bajo estas condiciones, no se observaron diferencias de susceptibilidad entre los materiales. Lo anterior indica que esta fuente de resistencia incompleta es débil y de poco interés, ya que logra expresarse únicamente cuando las condiciones ambientales no son muy favorables a la enfermedad. El interés por dicha resistencia también ha disminuido, porque se han observado diferencias muy marcadas al evaluar un mismo material en diferentes zonas. El cuadro 7-1 muestra los resultados obtenidos al inocular de 6 a 8 cabecitas (sin heridas) sobre cuadros de hoja (2.5 cm²), los cuales fueron colocados sobre papel de filtro en platos de Petri en condiciones de alta humedad. Esto significa que las condiciones ambientales donde se cultiva la variedad determinan, en gran parte, la respuesta del cultivar al patógeno.

Cuadro 7-1. Evaluación de la sensibilidad de un mismo cultivar (Caturra) en tres zonas distintas (Núñez *et al.*, 1995).

	Finca La Isabel	Colección CATIE	La Montaña
Número de cabecitas por lesión, 21 días después de la inoculación.	*1.92 b	2.61 b	4.38 a

* Promedio de tres repeticiones de ocho hojas cada una.

Otro aspecto que ha sido estudiado es la posibilidad de que la capa de cera que poseen las hojas en su superficie constituya en una barrera importante para la penetración de *M. citricolor*. Ramírez (1994) determinó el efecto del manejo de la fertilización y la luminosidad sobre el desarrollo y grosor de la cera epicuticular y encontró que ninguna de las dosis de fertilizante evaluadas (se probaron 0, 330, 660, 990 y 1320 kg/ha de la fórmula 20-7-10-3-1.2) influyó sobre el contenido de cera, mientras que el manejo de la luz sí tuvo un efecto, pues el contenido de cera aumentó cuando las plantas estaban a plena exposición solar. Estos resultados

explican lo encontrado por Tewari *et al.* (1986), quienes al inocular hojas de plantas provenientes de invernadero y campo, en ausencia de heridas evidentes, registraron una mayor infección con las del primer grupo, las que justamente estuvieron expuestas a una menor intensidad lumínica.

Las diferencias de resistencia podrían deberse también a diferencias en la arquitectura de la planta, de manera que algunas conservan más la humedad que otras y por lo tanto favorecen la enfermedad. Finalmente, otra hipótesis para explicar la mayor susceptibilidad de los Catimores es que las hojas de esta variedad son capaces de soportar una mayor cantidad de lesiones antes de caerse comparado con los Caturra y Catuai y, por lo tanto, producen una mayor cantidad de inóculo, provocando a su vez, que la enfermedad sea más severa.

7 Conclusiones

El ojo de gallo es una de las enfermedades más importantes en Centroamérica. Durante 30 años (1957-1987), se mantuvo bajo control con la ayuda del arseniato de plomo. Además, se vio desfavorecido con las nuevas técnicas de cultivo, en particular, la eliminación de la sombra. Luego de que se prohibió el uso del arseniato de plomo, la enfermedad ha vuelto a cobrar relevancia; tanto es así, que en Costa Rica y en Guatemala se le considera como uno de los principales problemas fitosanitarios del cafeto. No se puede descartar tampoco la posibilidad de que el patógeno se esté adaptando poco a poco a las nuevas condiciones de cultivo. Si esto se confirma, la enfermedad podría presentarse con mayor severidad en países como Nicaragua, El Salvador y Honduras, donde el ojo de gallo no ha alcanzado niveles preocupantes.

Bibliografía

- Aguilar, G. 1995. Variedad Costa Rica 95. Instituto del Café de Costa Rica. Convenio ICAFÉ-MAG. 30 p.
- Arroyo, T. 1975. Control biológico del ojo de gallo en el café causado por *Mycena citricolor* (Berk. & Curt.) Sacc. en época seca. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica. 66 p.
- Ashby, S.F. 1925. The perfect form of *Stilvum flavidum* Cke. in pure culture. Roy. Bot. Gardens. Kew Bul. Misc. Inf. no. 8: 325-328.

- Avelino, J.; Toledo, J.C.; Medina, B. 1992. El caldo bordelés y la recepa en el control del ojo de gallo. Memoria Técnica de Investigaciones en Café 90-91. ANACAFE, Guatemala. p. 123-129.
- _____; Toledo, J.C.; Medina, B. 1995. Desarrollo del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en una finca del Norte de Guatemala y evaluación de los daños provocados por esta enfermedad. Simposio de Caficultura Latinoamericana, IICA, Costa Rica. s.p.
- Bianchini, C.L.; Soto, C.A.; Rodríguez, R.A. 1958. Uso de fungicidas a base de arsénico en el café. Ministerio de Agricultura e Industrias. San José, Costa Rica. 5 p.
- Bonilla, J.C. 1979. Estudio de la epifitología del ojo de gallo causada por el hongo *Omphalia flavida*. Instituto Salvadoreño de Investigaciones en Café 3: 42-45.
- Buller, A.H.R. 1934. *Omphalia flavida*, a gemmiferous and luminous leaf-spot fungus. In Researches on fungi. Vol VI: 397-443, Longmans, Green & Co., Londres, 513 p.
- _____; Vanterpool, T.C. 1926. The bioluminescence of *Omphalia flavida*, a leaf-spot fungus. Phytopathol. 16: 63.
- Calvo, S.; Vargas, E. 1989. Efecto de diferentes adherentes y formulaciones de una bacteria parasítica en el combate de ojo de gallo (*Mycena citricolor* (Berk. & Curt.) Sacc.) en el cafeto. Turrialba 39: 328-334.
- Carvajal, B.F. 1939. Ojo de gallo (*Omphalia flavida*). Rev. Inst. Defensa Café (Costa Rica) 7: 535-576.
- Castaño, J.J. 1957. El arseniato de plomo (Du Pont Nu Rexform) en el control de la gotera del cafeto. Revista Cafetalera de Colombia 13: 36-44.
- Chávez, O. 1990. Evaluación de ATEMI 100 SL en el combate del ojo de gallo (*Mycena citricolor*). Taller Regional sobre Roja, Ojo de Gallo y otras enfermedades. Resúmenes. IICA-PROMECAFE, Costa Rica. s. p.
- Chávez, V. 1997. Evaluación de líneas de Catimor de la serie T-8600 en el cantón de San Carlos, Costa Rica. Memorias del 18 Simposio Latinoamericano de Caficultura, Costa Rica. ICAFÉ /IICA. p. 515-520.
- Cooke, M.C. 1881. The coffee diseases in South America. J. Linn. Bot. Soc. 18: 461-467.
- Curling, F. 1986. Combate biológico de *Mycena citricolor* (Berk. & Curt.) Sacc. por medio de *Trichoderma harzianum* en el cafeto. Tesis Ing. Agr., Universidad de Costa Rica. 79 p.
- Dennis, R.W.G. 1950. An earlier name for *Omphalia flavida* Maubl. And Rangel. Kew Bulletin 3: 434.
- Díaz, M.; Nápoles, V. 1961. Comportamiento de varios fungicidas en el combate de *Mycena citricolor* del cafeto en Ecuador. Turrialba 11: 93-97.
- Echandi, E. 1956. Inhibition of gemmae (cabecitas) production of *Mycena citricolor* on coffee trees. Plant Dis. Rep. 40: 775.
- _____; Segall, R.H. 1958. The effectiveness of certain eradicant fungicides on inhibition of gemmae of *Mycena citricolor*. Phytopathol. 48: 11-48.
- Ernst, A. 1880. Coffee disease in New Granada. Nature 22: 292.

- Maublanc, A.; Rangel, E. 1914. Le *Stilbum flavidum* Cooke, forme avortée de l'*Omphalia flavida* n. sp. Bull. Soc. Myc. (Francia) 30: 41-47.
- Medina, B. 1996. El ojo de gallo, enfermedad que usted puede controlar. La Nota Técnica, ANACAFE 7. 3 p.
- Mora, A.; Ramírez, C.; Vargas, E.; Rodríguez, T. 1989. Empleo de bacterias antagonistas en el combate de la enfermedad Ojo de Gallo del cafeto causada por *Mycena citricolor* (Berk. & Curt.) Sacc. Turrialba 39: 346-352.
- Mora, O. 1997. Estudio sobre el efecto del pH alcalino en la atomización para el control del Ojo de Gallo (*Mycena citricolor*). Memorias del 18 Simposio Latinoamericano de Caficultura. Costa Rica. ICAFE/IICA. p. 393-399.
- Muthappa, B.N.; Bakre, S.G. 1976. Efficacy of Bordeaux mixture of varying pH on coffee leaf rust control. Indian Coffee 40(10-11): 301-304.
- Núñez, C.; Bertrand, B.; Vargas, L.; Avelino, J. 1995. Estudio preliminar sobre el modo de inoculación del hongo *Mycena citricolor* (ojo de gallo) sin heridas en la hoja del cafeto : importancia de diferentes factores que intervienen en la penetración. 16 Simposio de Caficultura Latinoamericana. IICA, Costa Rica. s.p.
- Páez, C.A. 1976. Factores que afectan el hiperparasitismo de *Trichodema* spp. en el combate biológico de ojo de gallo en el café causado por *Mycena citricolor*. Tesis Ing. Agr., Universidad de Costa Rica. 77 p.
- Pereira, J.F.; Echandi, E. 1964. Residuos de arsénico en hojas y granos de plantas de café asperjadas con arseniato de plomo. Turrialba 14: 85-90.
- Quesada, D. 1996. Efecto del adherente y época de aplicación de una bacteria antagonista en el combate de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) Berk. & Curt. Sacc. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica. 58 p.
- Ramírez, C. 1994. Estudio preliminar sobre el efecto del manejo nutricional y de luz en el contenido de cera cuticular y el uso de coberturas foliares en la infección de *Mycena citricolor* (Berk. & Curt.) Sacc. en hojas de cafeto. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica. 70 p.
- Rao, D.V.; Tewari, J.P. 1987. Production of oxalic acid by *Mycena citricolor*, causal agent of the American leaf spot of coffee. Phytopathol. 77: 780-785.
- _____; Tewari, J.P.; DuFresne, C.; Ayer, W.A. 1985. Calcium oxalate crystals in the culture of *Mycena citricolor*, causal agent of the American leaf spot of coffee. (Abstr.) Phytopathol. 75: 1374.
- Ray, P.M. 1956. The destruction of indolacetic acid. II. Spectrophotometric study of the enzymatic reactions. Arch. Biochem. Biophys. 64: 175-192.
- _____. 1960. The destruction of indolacetic acid. III. Relationships between peroxidase action and indolacetic acid oxidation. Arch. Biochem. Biophys. 87: 19-30.
- _____; Thimann, K.V. 1956. The destruction of indolacetic acid. I. Action of an enzyme from *Omphalia flavida*. Arch. Biochem. Biophys. 64: 160-174.
- Riveiro, R. 1990. Evaluación de fungicidas para el combate del ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*) bajo condiciones de Cobán, Alta Verapaz., Guatemala. Taller Regional sobre Roya, Ojo de Gallo y otras enfermedades. Resúmenes, IICA-PROMECAFE, Costa Rica. s. p.

- Rodríguez, C. J. Jr., 1965. Physiological studies on the American leaf spot of coffee and on its causal agent *Mycena citricolor*. Ph. D. Thesis, University of Wisconsin, Madison, EE.UU. 71 p.
- _____; Arny, D.C. 1967. Effect of light on gemmae formation in *Mycena citricolor*. Can. J. Bot. 45: 675-679.
- Salas, J.A. 1960. Experimentos comparativos entre el arseniato de plomo y algunos fungicidas y antibióticos en el combate del ojo de gallo, *Mycena citricolor* (Berk. & Curt.) Sacc. En el café (*Coffea arabica*). Tesis M.Sc. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica. 45 p.
- _____; Hancock, J.G. 1972. Production of the perfect stage of *Mycena citricolor* (Berk. & Curt.) Sacc. Hilgardia 41: 213-234.
- Sequeira, L. 1952. Studies on *Omphalia flavida*, the agent of the American leaf spot of coffee. Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, EE.UU. 117 p.
- _____. 1958. The host range of *Mycena citricolor* (Berk. & Curt.) Sacc. Turrialba 8: 136-147.
- _____; Steeves, T.A. 1954. Auxin inactivation and its relationship to leaf drop caused by the fungus *Omphalia flavida*. Plant Physiol. 29: 11-16.
- Tewari, J.P.; Rao, D.V.; Vargas, E. 1986. Estudio preliminar sobre el modo de penetración de *Mycena citricolor* en la hoja de cafeto. Agronomía Costarricense 10: 199-202.
- Vargas, E. 1984. Interacción de tratamiento biológico y químico en el combate del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en el cafeto. Agron. Costarr. 8: 91-97.
- _____; González, M.; Umaña, G.; Vargas, L. 1990. Nuevas alternativas de combate químico del ojo de gallo (*Mycena citricolor*). 12 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana. IICA, Costa Rica. p. 425.
- _____; Umaña, G.; González, M.; Vargas, L. 1991. Informe de avance de proyecto de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafeto. International Development and Research Center, Universidad de Costa Rica. 3 p.
- _____; Umaña, G.; Vargas, L.; González, M. 1985. Informe de avance de proyecto de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafeto. International Development and Research Center, Universidad de Costa Rica. 22 p.
- _____; Umaña, G.; Vargas, L.; González, M. 1990. Epidemiología del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafeto en diferentes zonas cafetaleras en Costa Rica. 12 Simposio de Caficultura Latinoamericana. IICA, Costa Rica. p. 191.
- _____; Vargas, L.; González, M.; Umaña, G. 1986. Informe de avance de proyecto de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en cafeto. International Development and Research Center, Universidad de Costa Rica. 28 p.
- Wang, A. 1988. Variation in *Mycena citricolor* of coffee in Costa Rica. M. Sc. Thesis, University of Alberta, Alberta, Canada. 86 p.
- Wellman, F.L. 1950. Dissemination of *Omphalia* leaf spot of coffee. Turrialba 1: 12-27.
- _____. 1972. Tropical american plant disease (neotropical phytopathology problems). Scarecrow Press, Metuchen, N. J., EE.UU. 987 p.

CAPÍTULO 8

LA ANTHRACNOSIS DE LOS FRUTOS: UN GRAVE PELIGRO PARA LA CAFICULTURA CENTROAMERICANA

Raoul A. Müller,
ex Director Científico y Jefe del Servicio
de Fitopatología del IRCC
Dominique Berry, CIRAD
Daniel Bieysse, CIRAD*

1 *Introducción*

La literatura cita cierta cantidad de enfermedades de los frutos del café, entre las cuales podemos citar:

- La cercosporiosis (*Cercospora coffeicola* Berk y Cooke), cuya forma foliar se designa con el nombre de "enfermedad de ojos cafés", "brown eye spot", "olhos de hierro", "mancha de olho pardo", en las cerezas se presenta en forma de manchas de color café oscuro a negro, fuertemente hundidas "en empujón" sobre las cuales las fructificaciones del hongo aparecen como una pelusa muy fina grisácea, visible incluso a simple vista con luz rasante; no es entonces una enfermedad específica de los frutos; además es, en realidad, consecutiva a desórdenes fisiológicos de naturaleza diversa, principalmente ligados a una deficiencia en elementos minerales, sobre todo en nitrógeno y potasio,

* CIRAD-CP, BP 5035, Montpellier, France. Fax: 33-1-467-61-71-20.

a menudo agravada por la competencia de los adventicios, gramíneas en particular, siempre ávidas en nitrógeno; la lucha se hará entonces a través de manejo de cultivo, en particular con aportes en abonos cualitativamente y cuantitativamente apropiados, y una deshierba regular.

- ❑ El ojo de gallo -*Mycena citricolor* (Berk y Curt.) Sacc., que también constituye una afección específica del fruto, pero los ataques consecutivos a la infección del follaje y en consecuencia sometido a medidas de lucha aplicadas globalmente a todo el aparato vegetativo aéreo, como se dice en el capítulo 7, consagrado a esta afección foliar.
- ❑ La "enfermedad verrucosa", ligada a la presencia de *Sclerotinia fuckeliana* (de Bar.) Fuck., cuya forma asexual es *Botrytis cinerea* Pers., y que se desarrolla sobre todo en presencia de una sombra excesiva.
- ❑ La "enfermedad polvosa", "enfermedad polvorienta" o "mealy disease", provocada por *Trachysphaera fructigena* Tab y Bunt., en zonas húmedas y sin impacto económico real.
- ❑ La fusariosis, señalada en Brasil (Matiello, 1991).

Lo que acabamos de decir muestra que ninguna de estas afecciones es en principio realmente peligrosa; ninguna exige, entonces, medidas de lucha específicas.

Una única enfermedad grave de los frutos debe, sin embargo, retener nuestra atención: "la antracnosis de los frutos del Arabica", llamada en inglés "coffee berry disease" (CBD), la cual será objeto de las páginas siguientes.

2 La Antracnosis de los Frutos del Cafeto Arabica (Coffee Berry Disease o CBD)

2.1 Repartición geográfica e importancia económica

Esta enfermedad fue señalada y descrita por primera vez en 1922 por J. Mc Donald en Kenia. Alcanzó luego muy rápidamente los diferentes países de Africa del Este: República Democrática del Congo (en esa época Congo Belga, que se transformó luego en Zaire), Uganda, Burundi y Ruanda, Tanzania. Pasó a Angola y alcanzó la parte anglófona de Camerún en 1957, luego la parte francófona de este país, donde fue identificada en 1958 por R.A. Müller. Se la encontró muy tardíamente (1970)

en Etiopía, donde se difundió muy rápidamente. Hasta el día de hoy, limitada en Africa, la antracosis de los frutos solamente concierne el *Coffea arabica* y sólo hace estragos, pero con gran severidad, en lugares altos, a partir de 1500 msnm en la zona peri-ecuatorial. Sin embargo, la podemos encontrar en algunos sitios de altitud más baja, que presentan un microclima fresco y húmedo comparable al de las zonas elevadas; puede ser muy grave en estas regiones cuando se cultivan variedades de Arabica, particularmente sensibles, como lo veremos en las páginas siguientes.

La especialización ecológica de esta afección y su localización geográfica, tal como acabamos de caracterizarlas, muestran que no afecta sino una parte modesta de las superficies consagradas a la caficultura en el mundo. Pero es una verdadera peste para las plantaciones donde obra con severidad: de acuerdo con muy numerosas observaciones hechas en los diferentes países de Africa del Este desde su aparición en la región, y en Camerún donde se le da seguimiento desde hace cuarenta años (Müller, 1961, 1968, 1980; Aubin *et al.*, 1993), provoca pérdidas que, si bien son variables de un año a otro y de un sitio al otro, son, sin embargo, siempre muy importantes, del orden de 40% a 80% o más de la producción. La importancia de los ataques depende de las condiciones climáticas: las esporas del organismo responsable tienen necesidad de agua líquida para su germinación; las lluvias y las brumas persistentes son el elemento determinante de la infección, así como las temperaturas frescas que caracterizan las regiones de altitud elevada, y cuyo efecto será analizado más adelante, pero la intensidad de la enfermedad está igualmente condicionada por la importancia de la fructificación. La contaminación de cereza a cereza se ve favorecida cuando los frutos están densamente repartidos en las ramas.

Comprendemos, entonces, que la antracosis de los frutos del Arabica haya retenido toda la atención de los productores, de los técnicos y de los investigadores un poco en todas partes en donde se le encuentra. Dado que numerosos sitios fuera del continente africano, y muy particularmente en el continente americano, pueden, parece ser, ofrecerle las condiciones necesarias para su desarrollo, conviene ser extremadamente cuidadoso con el fin de evitar su extensión.

2.2 El agente causante

La enfermedad es provocada por un hongo que pertenece al género *Colletotrichum*, durante mucho tiempo designado como *C. Coffeanum*

debido a su presencia en el cafeto. Sin embargo, desde la primera descripción (Mc Donald, 1922, 1924, 1926) fue considerada como una cepa aparte de esta especie; el autor para ello se basaba en algunos criterios biológicos tales como la ausencia de fructificaciones sexuales y su aptitud patogénica. Es para subrayar estas particularidades y singularmente su carácter patógeno en el fruto que lo distingue de otros *Colletotrichum* encontrados en diferentes órganos de la planta, y siempre saprófitos, que luego se le bautizó como "variedad *virulans*" (Rayner, 1948). A partir de varios estudios que aportaron clarificaciones de orden taxonómico sobre las especies de *Colletotrichum* hospedadas en los diversos órganos del café (Hindorf, 1972, 1974, 1977), y sobre el grado de patogenicidad, se da a la cepa responsable de la antracnosis de los frutos del Arabica el nombre de "*C. coffeanum sensu Hindorf*". La singularidad de la cepa en cuestión está ahora consagrada por la nueva denominación de *Colletotrichum kahawae* Waller y Bridge, que, basándose en una descripción que pone de manifiesto sus características morfológicas y patogénicas, desde hace tiempo presentadas por Mc Donald, debe permitir evitar las confusiones (Waller *et al.*, 1993).

3 Síntomas

En todos los estados de desarrollo, los frutos pueden ser portadores de *C. Kahawae*:

- En los frutos maduros, el hongo provoca una podredumbre de la pulpa, que ha recibido el nombre de "brown blight", parecido al aspecto resultante de la presencia de otros *Colletotrichum* en las cerezas muy maduras; esta forma no es entonces representativa de la enfermedad, y no tiene, por otra parte, efectos sobre la producción, ya que únicamente la pulpa es la atacada; los granos pueden, sin embargo, estar a veces manchados.
- En los frutos jóvenes verdes, se observan dos formas únicas que son típicas de la enfermedad:
 - ◆ una forma llamada "scab" (foto 8-1): unas manchas de tinte amarillo gamuzado, de contornos irregulares, ligeramente deprimidos, y portadores de puntos finos negros que son los acérvulos del hongo, caracterizan esta podredumbre seca de evolución lenta; no causa daños importantes; la caída de las cerezas puede, sin embargo, suceder al momento en que estas manchas, al situarse en el punto de unión con el pedúnculo, provocan la ruptura de este último, lo que es relativamente raro.

una forma llamada "activa" (foto 8-2): en este caso, las lesiones son de color oscuro, hundidas. Estas lesiones contienen los acérvulos del hongo en mayor número y de mayor tamaño, que producen numerosas esporas que aparecen en pequeñas masas rosadas en condiciones de mucha humedad. Esta podredumbre húmeda evoluciona rápidamente y destruye las cerezas en pocos días: al final de la evolución, cuando han sido alcanzadas en un estado de desarrollo un poco avanzado, solamente son pequeños sacos vacíos, negros, que se despedazan fácilmente con los dedos (foto 8-3); pero más generalmente los ataques a los frutos muy jóvenes implican su caída precoz.

Son entonces estas dos formas, "scab" y "activa", en los frutos verdes, los únicos que permiten un diagnóstico. Constatamos que la proporción de forma "activa" es más grande en las cerezas muy jóvenes; esta proporción se invierte progresivamente con la edad de los frutos; parece que la forma "scab" puede ser considerada como la expresión al menos parcial de una cierta resistencia de los tejidos que evolucionan con la edad.



Foto 8-1. *Colletotrichum kahawae*: forma "scab" de la antracosis de las cerezas del Arabica.



Foto 8-2. *C. kahawae*: forma "activa" de la antracnosis de las cerezas del Arabica.



Foto 8-3. *C. kahawae*: ramas cuyos frutos están destruidos casi en su totalidad; las hojas y los ejes de las ramas se mantienen sanos; se nota que los frutos enfermos, reducidos al estado de pequeños sacos negros y vacíos, se quiebran fácilmente entre los dedos.

Para un diagnóstico seguro, conviene completar la observación de las cerezas con la observación de los arbustos.

- la antracnosis de los frutos es en cierta forma una enfermedad de los árboles vigorosos, portadores de frutos de color verde franco, al contrario de la cercosporiosis con la cual se le confunde a menudo, cuyas lesiones tienen sin embargo un aspecto muy diferente, y que, sobre todo, se da en sujetos deficientes, carentes de nitrógeno, y más o menos cloróticos;
- la antracnosis de los frutos es estrictamente enfeudada a los frutos: pueden ser destruidos casi en su totalidad mientras que los arbustos no tienen ningún rastro de ataque ni en las hojas ni en las ramas fructíferas (foto 8-3); además de que este punto confirma bien la particularidad patogénica del *C. kahawae* por oposición a los otros *Colletotrichum* que encontramos en las ramas secas en el caso de "die back", es muy importante garantizar el diagnóstico y evitar cualquier confusión.

4 *Condiciones de Desarrollo*

4.1 *Naturaleza de la inoculación*

Hasta ahora, no se ha encontrado la forma sexuada de *Colletotrichum kahawae*, y esta ausencia es parte incluso de las características particulares de la especie que permiten un diagnóstico seguro. Parece ser que únicamente las conidias garantizan la diseminación de la enfermedad, gracias a todo lo que se desplaza en la plantación: el agua de lluvia, los insectos, los hombres y también sus trabajos de mantenimiento. El viento no parece jugar un gran papel en esta diseminación.

Vimos más arriba que la cantidad de esporas emitidas por las cerezas enfermas era considerable; este inóculo secundario se vuelve entonces cada vez más importante después del comienzo de la infección, dando a la enfermedad su carácter literalmente explosivo, pero veremos después que la fase de expansión de la infección se encuentra disminuida y luego bloqueada cuando los frutos han alcanzado un cierto estadio, lo que estabiliza el grado del ataque.

4.2 Origen del inóculo primario

El origen del inóculo primario ha dado lugar en otras ocasiones a una discusión seria. Concernía la "teoría del inóculo potencial", elaborada en Kenia durante los años cincuenta (Nutman y Roberts, 1956, 1960, 1961, 1969). Esta teoría fue adoptada por los productores, en Kenia y en todos los países donde existía la enfermedad en Africa del Este, hasta finales de los años sesenta. Sus autores afirmaban que los tejidos de las ramas no maduras albergaban el hongo responsable de la antracnosis de los frutos sin causarles daños, y que las esporas emitidas a partir de estos tejidos eran la fuente de contaminación de los frutos. Concluían de ello que el período en que esta emisión de esporas era mayor, debía ser la más favorable para efectuar los tratamientos preflorales.

Cuando la enfermedad apareció en Camerún, los tratamientos preflorales de la estación seca, así como los preconizados en Kenia fueron probados, y comparados con los tratamientos posflorales aplicados durante la estación húmeda y consecuentemente sobre los frutos. De estas pruebas (Müller, 1961), se sacó la conclusión de que los tratamientos posflorales eran los únicos eficaces, los tratamientos preflorales de estación seca no tenían ninguna efectividad.

Durante un estudio realizado en Kenia por Müller (1968), a petición de los productores, se propuso un análisis crítico de la teoría del inóculo potencial según Nutman y Roberts, lo que condujo a hacer tres observaciones importantes (Müller, 1968, 1980), que fueron confirmadas por los trabajos científicos que el mismo estudio incitó a emprender. Encontraremos aquí abajo los elementos esenciales:

- Primera observación relativa a la localización del "inóculo potencial": se consideraba que, en principio, las ramas eran los únicos órganos que podían albergar el patógeno, y en consecuencia, que podían liberar las esporas; la simple lógica, gracias a numerosas observaciones, se oponía a esta idea; las cerezas enfermas debían en principio jugar un papel importante como fuente de contaminación, puesto que las lesiones "activas" producían esporas en grandes cantidades. Esta lógica fue confirmada después, puesto que se pudo evaluar esta producción en 9400 esporas por centímetro cuadrado y por hora (Gibbs, 1969).
- Segunda observación concerniente a la naturaleza del hongo eventualmente albergado por los tejidos de las ramas: se suponía por principio que las esporas emitidas por estos tejidos pertenecían todas

a la especie responsable de la enfermedad; ahí nuevamente la lógica se oponía a esta idea, ya que el conteo de las esporas tal y como se hacía, no permitían saber si eran todas de la misma especie: las esporas de los *Colletotricum* son en efecto particularmente simples en el plano morfológico, y la distinción de las especies no puede basarse en esta única observación; procediendo así, se tenían todas las posibilidades de contabilizar como agente del CBD, a todos los *Colletotricum* susceptibles de ser los hospederos de los tejidos de las ramas. De hecho, Gibbs (1969) demostró que las ramas albergaban hasta cuatro formas de *Colletotrichum*. Estudios más precisos (Hindorf, 1972 y 1974) mostraron que las ramas albergaban *C. acutatum* y diversas formas del *C. gloesporioides* y nunca el agente del CBD que sólo se encontraba en los frutos. Unos estudios muy recientes que ponen a trabajar métodos de diagnóstico precisos confirman este hecho: por un lado no se puede aislar el agente del CBD, ahora designado como *C. kahawae*, sino a partir de los frutos enfermos; por otro lado, este patógeno no tiene compatibilidad vegetativa con los otros *Colletotrichum* encontrados en los otros tejidos del café; lo que muestra bien que se trata de una especie distinta enfeudada en los frutos (Bella Manga *et al.*, 1997);

- Tercera observación relativa al posible papel de los fungicidas disponibles en la época; estos fungicidas, muy a menudo cúpricos, que no tenían las propiedades preventivas, no podían responder a lo que se esperaba, que era detener la esporulación del patógeno a partir de los tejidos que aparentemente los contenían.

El sistema de Nutman y Roberts, que estuvo en vigencia en Kenia y en los otros países de África del Este durante más de quince años, fue totalmente abandonado a finales de los años sesenta (Vermeule, 1979), y se adoptó el esquema de tratamientos definido experimentalmente en el campo en Camerún a comienzos de los años sesenta.

El problema del origen del inóculo primario es relativamente simple en los países como Kenia, donde el clima tipo ecuatorial tiene dos estaciones secas y dos estaciones lluviosas, lo que determina en el café dos floraciones distantes de seis meses más o menos, y como consecuencia con dos poblaciones de cerezas que coexisten en los arbustos, una contaminando a la otra y viceversa, cada una de ellas es fuente de inóculo y de contaminación para la otra. Casi podríamos decir que, en este sistema de dos producciones, no hay inóculo primario propiamente dicho, sino solamente en abundancia un inóculo secundario producido por los frutos contaminados.

En cambio, la cuestión se plantea más aún en los países donde como en Camerún, un clima tropical de montaña con una única estación seca y una única estación de lluvias determina una única floración anual del cafeto: en este caso, los arbustos, después de la cosecha, experimentan una estación seca muy marcada, y no hay coexistencia de una producción con la siguiente. Las observaciones precisas han puesto sin embargo en evidencia el papel importante, para la transmisión de la enfermedad de un año a otro, de los frutos no recolectados al momento de la cosecha: se produce en efecto, durante el año, pequeñas floraciones entre las estaciones, y los frutos que provienen de las mismas, inmaduros o demasiado pequeños para ser recolectados, se mantienen en los árboles; estos frutos, portadores del *C. kahawae* en la misma proporción que los otros, sirven de puente invernal al patógeno y constituyen otra de las tantas fuentes de inóculo primario: se ha constatado que su destrucción al momento de la cosecha retarda el arranque de la infección de la cosecha siguiente (Müller, 1961, 1980); las cerezas olvidadas por los cosechadores, las cerezas enfermas abandonadas en los arbustos o que han caído al suelo, los pedúnculos de las cerezas enfermas que quedan unidos a las ramas, son también fuentes de inóculo primario. El inóculo secundario está provisto en abundancia por las cerezas enfermas durante la campaña.

4.3 Evolución de la enfermedad durante la campaña

La epidemia depende de las lluvias y de las brumas; las esporas del hongo tienen necesidad de agua líquida para germinar. Estando limitada a las regiones de altitud elevada, está igualmente ligada a las temperaturas frescas. La abundancia y la densidad de las cerezas sobre las ramas son también factores de intensidad de los ataques.

Pero el estudio profundo de la evolución de la enfermedad durante una campaña muestra que estos elementos no son los únicos factores que influyen en la epidemia, las características intrínsecas de los frutos variables durante su propio desarrollo intervienen para determinar las fases.

Los estudios conducidos en Kenia (Mulinge, 1969) y sobre todo en Camerún pusieron en efecto en evidencia una variación de la sensibilidad del fruto durante su desarrollo (Müller, 1961, 1964, 1970, 1973, 1975, 1980): en su más tierna edad, los frutos son insensibles a los ataques del *C. kahawae*, no son receptivas sino a partir de la sexta semana después de la floración, mientras que el ovario comienza su fase de expansión volumétrica; la sensibilidad del fruto joven aumenta progresivamente para

pasar por un máximo entre la octava y la duodécima semanas después de la floración; disminuye luego para desaparecer poco después en la vigésima segunda semana, que es también el momento en que el fruto ha terminado su fase de expansión. Esta ausencia de sensibilidad se traduce por el hecho de que las lesiones existentes no evolucionan más, y que no aparecen nuevas lesiones. Algunas lesiones de tipo "scab" tienden incluso a desaparecer por descamación de los tejidos atacados. Curiosamente, nuevas lesiones aparecen al momento de la fase de premaduración y de maduración de las cerezas, mientras que se entra en el período seco que no puede favorecer ni la diseminación ni la germinación de las esporas: parece claro que estas lesiones no son debido a infecciones recientes, y que no pueden por lo tanto provenir sino de infecciones sucedidas al final de la fase de sensibilidad del fruto verde joven, que se mantuvieron latentes durante su fase de insensibilidad durante la cual la pulpa no ofrece al hongo las condiciones favorables para su desarrollo, y que se expresan tardíamente, cuando la pulpa que madura, cambia de volumen y de consistencia, parece transformarse en el medio compatible con la vida activa del patógeno. Se notará que estas lesiones aparecen tardíamente al momento en que el pergamino está bien formado y constituye una barrera para el hongo (Masaba *et al.*, 1982).

Al establecer cada semana la relación entre el número de cerezas enfermas perdidas entre dos semanas "n+1" y "n", se pudo trazar (Müller, 1961, 1964, 1970, 1973, 1975, 1980) la curva evolutiva de un "coeficiente de sensibilidad" de los frutos que aparece como una característica intrínseca del fruto, independientemente de las condiciones climáticas. La gravedad de la enfermedad reside en la coincidencia de las primeras semanas de la estación lluviosa caracterizadas por una humedad cada vez mayor, y por ende cada vez más favorables al patógeno, y la fase de sensibilidad máxima de las cerezas (Müller, 1980; Berry *et al.*, 1991).

No se conoce con precisión el por qué de la variación de la sensibilidad de las cerezas. Sin embargo las indicaciones lógicas pueden ser encontradas en los resultados de los análisis hechos en Camerún, de acuerdo con el cuadro 8-1.

Se ha notado que el contenido en agua y el contenido en azúcares de la pulpa evolucionan paralelamente, al mismo tiempo que el "coeficiente de sensibilidad de los frutos"; fuertes durante la fase de sensibilidad del fruto joven, débiles durante la fase de insensibilidad, se vuelven fuertes en la premaduración y la maduración. Paralelamente, el grano, primero en estado lechoso, lleno de agua y de consistencia suave, se hace cada vez menos acuoso para alcanzar su aspecto córneo, duro y seco al final del ciclo.

Cuadro 8-1. Contenidos de agua en porcentaje del peso fresco de la pulpa y del grano.

Edad del fruto en semanas		8	11	13	15	17	20	22	26	28	33	35
Contenido agua	Pulpa	80,2	83,3	86,5	78,4	77,7	74,8	72,9	72,3	72,5	79,8	77,4
	Grano	88,6	91,0	91,5	90,7	90,8	88,5	86,8	74,2	69,7	53,3	43,3

Es, sin embargo, mientras que el pergamino se hace esclerótico, barrera que cada vez es más eficiente en la protección del grano, que se sitúa en la fase de insensibilidad.

Entonces vemos claramente que si la infección no es posible sino bajo condiciones climáticas caracterizadas por una fuerte humedad, el desarrollo de la enfermedad durante el año está ligado a la naturaleza misma del fruto, independientemente del clima.

Más arriba dijimos que, si el CBD es una enfermedad grave a grandes altitudes, más allá de los 1500 msnm en regiones cercanas al ecuador, se le podía sin embargo encontrar en zonas más bajas en ciertos años; en tales zonas, se puede también encontrar en algunas variedades particularmente sensibles: este fenómeno ha sido constatado en Camerún, a 1100 msnm de altitud, donde el Caturra es fuertemente atacado mientras que las otras variedades, por otra parte muy vulnerables a 1500 msnm, se mantienen indemnes.

Es entonces evidente que el patógeno no existe solamente a grandes altitudes, sino que también a bajas altitudes, sin que sin embargo tome un desarrollo epidémico, salvo para unas variedades particulares. En Camerún se intentó (Müller, 1980) dar una explicación a este fenómeno, apoyándose en numerosas observaciones: debido a la gran rapidez de desarrollo de los frutos a baja altitud, sobre todo durante su fase de expansión volumétrica, sus estadios de sensibilidad serían demasiado cortos para permitir a la infección tomar una dimensión exponencial, de ahí la ausencia de la enfermedad; en cambio, el desarrollo mucho más lento de las cerezas haría que sus estadios de sensibilidad fueran de larga duración, dando a la infección todo el tiempo para hacerse epidémica. Esta tesis está apoyada en el hecho de que en Camerún, el tiempo que separa la floración de la

maduración, para una misma variedad de Arabica (como en Jamaica), sensible a 1700 msnm e inmune a 1100 msnm, es respectivamente de 42 y 32 semanas, esta diferencia concierne principalmente a la fase juvenil de expansión volumétrica que es también la fase de sensibilidad máxima. Aquí de nuevo por consiguiente, las diferencias climáticas que caracterizan los dos estratos altitudinales no tienen un efecto directo sobre el patógeno, sino sobre la planta, haciendo jugar al máximo la receptividad intrínseca del fruto. Convendría, sobre esta base, hacer los estudios necesarios para comprender por qué el Caturra y algunas otras variedades son sensibles a baja altitud: un crecimiento de las cerezas más lento en las otras variedades, no solamente en términos de volumen sino sobre todo en términos de composición de la pulpa que da a estas variedades un período de sensibilidad más largo, ¿será la causa de la presencia de la enfermedad en las altitudes donde el mayor número de variedades se mantienen protegidas de los ataques?

5 La Lucha Química

El calendario general de aplicación de los tratamientos fue evocado más arriba a propósito del origen del inóculo, se dijo que únicamente los tratamientos posflorales podían tener una eficacia contrariamente a los tratamientos preflorales que en otra época se preconizaron en Kenia.

Las aplicaciones de fungicidas deben comenzar poco después de la floración para envolver preventivamente los frutos más jóvenes antes de que estén en estado de sensibilidad. Deben luego ser aplicados regularmente según un ritmo variable, función de la persistencia de acción de los productos utilizados y de su tipo de protección (solamente preventiva, o curativa debido a las propiedades sistémicas o penetrantes), pero cada vez más frecuentemente con la intensificación de las precipitaciones. Deben detenerse al final de la fase de sensibilidad de las cerezas, o sea en la vigésima semana después de la floración, puesto que se han hecho inútiles a partir de esta fecha.

Tenemos entonces un sistema de base, en el cual se debe hacer siete aplicaciones cuando se utiliza un cúprico, y solamente cinco cuando se utiliza un fungicida sistémico (Captafol).

Tratamiento	Cúpricos	Fungicidas sistémicos
Primero	Justo después de la floración	Justo después de la floración
Segundo	Cinco semanas después del primero	Cinco semanas después del primero
Tercero	Cuatro semanas después del segundo	Cuatro semanas después del segundo
Cuarto	Tres semanas después del tercero	Cuatro semanas después del tercero
Quinto	Dos semanas después del cuarto	Tres semanas después del cuarto
Sexto	Dos semanas después del quinto	No hay quinto ni sexto tratamiento
Séptimo	Dos semanas después del sexto	

Este calendario de lucha contra el CBD recubre ampliamente el que fue preconizado contra la roya anaranjada (*Hemileia vastatrix*) o la roya harinosa (*Hemileia coffeicola*), esta última es más activa que la otra a gran altitud: conviene entonces utilizar un fungicida activo contra los dos tipos de patógenos.

El establecimiento de este calendario se hizo con el Captafol (sistémico), ahora prohibido por sus efectos nocivos para la salud humana.

En los últimos decenios aparecieron numerosas moléculas fungicidas que fueron probadas en la lucha contra el CBD, con la esperanza de encontrar armas más especializadas en términos de eficacia propia y de persistencia de acción por el juego de propiedades sistémicas o penetrantes que permitiéran reducir el número de aplicaciones, o para ampliar la gama de las posibilidades.

En efecto, hay que considerar que, si los cúpricos son eficaces, es al precio de siete aplicaciones en las regiones de clima tropical (tipo zona arábica de Camerún), que no tienen más que una estación de lluvias y en consecuencia una única producción anualmente, y de diez a doce aplicaciones en clima ecuatorial (tipo Kenia), que tiene dos estaciones lluviosas que inducen a dos producciones anuales que se entrelazan en el tiempo y se contaminan recíprocamente. Algunos trabajos recientes conducidos en Camerún, han mostrado sin embargo que los cúpricos pueden ser insuficientes para controlar la enfermedad cuando las condiciones climáticas (lluvias y brumas persistentes), son particularmente favorables al CBD. Además el cobre, en dosis de empleo eficaz, es depresivo para el café.

Si a pesar de estas desventajas, los cúpricos siguen siendo muy utilizados, su uso ha cambiado en el curso de los últimos años: son empleados cada vez más en mezcla, o alternándolos con otros productos más eficaces porque son sistémicos, pero más costosos, con el fin de reducir el costo de empleo de estos productos, y sobre todo para evitar la emergencia de

cepas del patógeno resistentes a estas sustancias. Estas cepas mutantes aparecen, o se arriesga a que aparezcan, cuando se les emplea solos, como ya fue el caso con el Benomyl o el Carbendazim. Se debe considerar que la pérdida de eficacia de los sistémicos puede ser un fenómeno duradero, incluso en ausencia de presión de selección continua. La resistencia al Benomyl es siempre una realidad trece años después de que se han detenido los tratamientos; las resistencias al Prochloraze-Mn fueron descubiertas solamente un año después de la primera aplicación de este producto. Estos hechos muestran bien la absoluta necesidad de asociar un fungicida cúprico a estos fungicidas modernos: el cobre en mezcla o aplicado en alternancia, destruye las cepas mutantes resistentes y contribuye de esta manera a conservar la eficacia de los sistémicos.

Parece ser, sin embargo, que el uso de los cúpricos solos tendría su interés en algunos casos particulares, como por ejemplo la necesidad de combatir al mismo tiempo algunos otros patógenos; según Matiello (1991), por ejemplo, se aconsejarían en Brasil, en forma de caldo bordelés o de hidróxido de cobre, en la lucha contra *Pseudomonas syringae* *pv.* *garcae*.

Debemos concluir diciendo que gracias al empleo de los sistémicos unidos con un cúprico para preservar su eficacia, el número de aplicaciones puede reducirse de manera importante, lo que constituye un progreso real. En la búsqueda de moléculas nuevas, se deberá tomar en cuenta siempre los efectos secundarios de estos productos en la planta.

La lista de productos actualmente utilizables se da en el cuadro 8-2.

Waller (1971) tuvo la idea de tratar de modular el ritmo de aplicación de los tratamientos en función de las realidades climáticas, más que aconsejar un ritmo rígido en términos de intervalos de tiempo entre las aplicaciones: se sugirió, para Kenia, hacer un tratamiento después de un cúmulo de precipitaciones de 100 milímetros durante el período de abril a junio, y después de un cúmulo de 125 milímetros durante el período de julio-diciembre. Esta fórmula, lógica en el sentido en que los fungicidas son mucho más rápidamente lavados entre más lluvia haya, podría conducir a reducir el número de tratamientos de 13-14 a 10-11 en Kenia.

La contaminación de cereza a cereza es el elemento epidemiológico mayor; será entonces mucho más fuerte entre más numerosas sean las cerezas en un espacio dado; la enfermedad será entonces más grave en caso de fuerte producción que en casos de baja producción dispersada en los arbustos; podría ser útil hacer un estudio tendiente a modular el número y el ritmo de los tratamientos en función de la importancia de la producción a proteger y de su densidad, los árboles de porte elevado y de entrenudos largos parecen ser entonces menos vulnerables que los árboles de porte enano y de entrenudos cortos.

Cuadro 8-2. Eficacia de los diferentes productos fungicidas presentes en el mercado.

Materias activas o comerciales	Eficacia
Clorotalonil + hidróxido de cobre (Kocide) Clorotalonil + oxiclورو de cobre (Dacobre) Clorotalonil + manebe + CuO a 0.7% captafol + óxido de cobre (CuO Daconil 75% WP+CuO Dyrene procloraze - Mn	muy buena protección
Anilazine anilazine + CuO a 0.82% captafol 80% WP formulado a 0.4% y 0.6% Carbendazim diatianon 750SC a 0.3% Ortodifolatan Tiabendazole Tiofonate	de mediana a buena protección
fenpropemorf formulado a 0.2% y 0.5% mancozebe a 0.75%	mala protección

De los experimentos antiguos (Wallis, 1965; Firman, 1967) y más recientes se ha demostrado que las pulverizaciones a gran volumen, de 700 a 1000 litros por hectárea dependiendo de la dimensión de los árboles, son más eficaces que las pulverizaciones sopladas de volumen reducido que sin embargo se practican en Etiopía para alcanzar la frondosidad muy elevada de los cafetos que constituyen el sotobosque forestal. Las cúspides de los cafetos son particularmente atacadas por el CBD, las máquinas fueron concebidas en Kenia para "duchar" los arbustos (Gassert, 1976). Algunas pruebas de tratamientos en ULV (ultra low volume) habrían sido satisfactorias recientemente; conviene sin embargo acoger esta información con prudencia ya que si esta técnica es seductora porque permite utilizar muy bajas cantidades de agua, no parece estar adaptada a la lucha fungicida que exige que todos los órganos vulnerables reciban el producto protector.

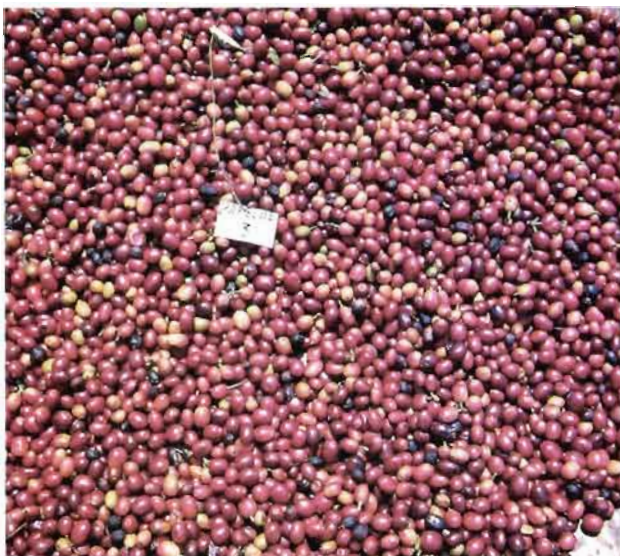
En Camerún, en el pasado se trató de reemplazar el agua soporte de los fungicidas por aceites minerales, que eran corrientemente empleados para luchar desde un avión contra la enfermedad de la sigatoka (*Cercospora musae*) del banano. En el caso del CBD, los resultados fueron decepcionantes.

cionantes: debido a la necesidad de alcanzar las cerezas situadas en el corazón de los arbustos, las cantidades de aceite eran demasiado importantes y sobre todo alcanzaban directamente en abundancia las puntas de las ramas, formando así una pantalla al flujo de la emulsión, lo que provocó quemaduras graves.

Al efectuar los tratamientos cúpricos en grandes volúmenes, o utilizando únicamente los sistémicos o en mezcla dependiendo del tipo de pulverización, se obtuvieron resultados excelentes en términos de eficacia y de rentabilidad. A título de ilustración, las fotos 8-4 y 8-5 muestran el aspecto de una cosecha eficazmente tratada con la ayuda de un cúprico (Caldo al 0,50% de un producto comercial con una titulación de 50% de cobre metal de oxiclورو tetracuprico), por comparación con la cosecha del testigo no tratado: bajo tratamiento se obtuvo 1800 kg/ha de un café de muy buena calidad, mientras que el testigo proporcionaba 900 kg/ha de café mediocre en su conjunto, que tiene una gran proporción de granos manchados y de granos mal formados provenientes de los frutos cuya pulpa enferma había secado prematuramente antes de la maduración completa (Müller, 1980)

6 La "Lucha Agronómica"

Partiendo de la evolución de la sensibilidad de las cerezas durante su desarrollo, se concibió y se perfeccionó en Camerún (Müller, 1973, 1975, 1977, 1980, 1982) un método de control del CBD, cuyo principio es el siguiente: las flores que proporcionan la producción de un año existen en las ramas desde finales de la campaña anterior (octubre-noviembre en el caso del Camerún), se mantienen en estado de dormancia en forma de botones durante toda la estación seca, o sea aproximadamente de tres a cuatro meses dependiendo de los años, son llevadas hasta el desarrollo completo por las primeras lluvias de la campaña siguiente, a comienzos de marzo en promedio; basta entonces con provocar la floración un mes y medio o dos meses antes de la fecha natural, por irrigación del suelo o por aspersión, a partir mediados de enero, o sea un mes y medio o dos meses antes de las primeras lluvias, para adelantar en la misma proporción el ciclo de producción: las fases de sensibilidad máxima de los frutos se sitúan entonces en la estación seca, en una época climática que no permite la actividad del patógeno que no volverá a comenzar progresivamente su vida activa sino con las lluvias, y las cerezas habrán ya alcanzado un estadio de menor sensibilidad y luego de insensibilidad, escapando



Fotos 8-4 y 8-5. Aspecto de las cosechas, tratadas eficazmente con la ayuda de un fungicida cúprico (8-4) y no tratado (8-5).

entonces en gran parte a la infección. Es por supuesto necesario no limitarse al aporte de agua que de inicio a la floración, sino que debe procederse a aportes de agua sucesivos a un ritmo y en cantidad tales que la vegetación y el crecimiento de los frutos se desarrolle normalmente. ...

En Camerún se verificó la validez de este método de control del CBD que puede estar integrado a las prácticas culturales de intensificación. Gracias a la irrigación precoz, se puede entonces controlar casi totalmente el CBD, por esquivación, subrayando que los ataques subsistentes se dan en las cerezas de una edad ya relativamente avanzada, son principalmente de tipo "scab" y no tienen entonces más que un efecto débil en la producción. Además la irrigación precoz provoca una floración total y evita los azares que perjudican a menudo, en las condiciones naturales, los logros de la floración (caída de las flores, desecación de los botones florales llevados al estadio de "candela" y detenidos en su apertura por una insuficiencia de lluvia, la muerte de las cerezas jóvenes debido a un período seco intempestivo), y finalmente garantiza el logro de la aparición del fruto. En los experimentos hechos los rendimientos de las parcelas irrigadas que han sido respectivamente diez veces y cinco veces más abundantes que en las parcelas testigo no irrigadas, que no habían podido expresar su potencial productivo después de los períodos secos que habían conllevado a la muerte de las flores. En total, se puede entonces decir que la irrigación precoz, además de ser un método de lucha eficaz contra el CBD, es una garantía para una producción regular de alto nivel.

Pero no podríamos dejar de mencionar el hecho de que tiene el inconveniente de estimular los ataques de las dos royas foliares *Hemileia vastatrix* y *H. coffeicola*, esta última es la más importante de las zonas de altitud donde hace estragos el CBD. Esta estimulación no se da, como se podría pensar, *a priori*, sino por la acción directa de los aportes de agua en la diseminación y la germinación de las esporas de estos dos patógenos: se ha constatado que se tiene el mismo fenómeno con aportes de agua al suelo, no mojando los órganos aéreos de la planta sino con la aspersión. La explicación es que los aportes de agua precoces, al mismo tiempo que relanzan la actividad vegetativa de la planta, reactivan los patógenos en estado de dormancia debido a la sequía en las hojas enfermas de la estación anterior y los llevan a esporular: un inóculo abundante existe entonces mientras llegan las primeras lluvias, permitiendo así una contaminación precoz de las hojas y un inicio rápido de la epidemia que, además, va a durar más tiempo que en las condiciones naturales.

A pesar de este desarrollo más precoz, más intenso, y más largo de las dos royas, es fácilmente manejable por medio de dos o tres aplicaciones de

fungicida que completan la acción de la irrigación sobre el CBD; gracias a la irrigación practicada de esta manera para luchar contra el CBD, se hace entonces una gran economía de los tratamientos químicos: de cinco a siete aplicaciones para combatir el CBD y royas en las condiciones naturales, dos o tres solamente con irrigación. Se debe entonces considerar la irrigación precoz asociada a un número muy limitado de tratamientos químicos, como la mejor fórmula de lucha contra el CBD.

7 La "Lucha Genética"

Desde hace muchos años se tuvo preocupación de encontrar una resistencia genética contra el CBD (Firman, 1964).

Fue en Kenia (Cook, 1973, Van der Vossen *et al.*, 1980, Walyaro *et al.*, 1982) que se trató de explotar un sistema de resistencia específica de carácter oligogénico que se basara en el estudio de las poblaciones salvajes de dos tipos, uno perteneciente a la especie *arabica* (rume Sudan), la otra resultante de la hibridación natural entre *arabica* y *canephora* (híbrido de Timor), en las cuales se habían descubierto varios tipos de resistencia. La investigación puesta en marcha consiste en un cribado sistemático por inoculación de los hipocótilos de las plántulas jóvenes en estadio de soldados, las reacciones a la infección de este material que son consideradas como el reflejo de las reacciones de las cerezas. Algunas descendencias de tipo Catimor (cruzamiento entre Caturra e Híbrido de Timor), ya reconocidas como resistentes a la roya anaranjada, se han mostrado interesantes en este sistema: la variedad Riuru 11 parece que puede ser utilizada para inmunizar contra las dos afecciones. Pero igual que para la roya anaranjada, es conveniente sin duda mostrarse prudente, algunos Catimores han mostrado ser sensibles al CBD en Camerún.

En Camerún (Bouharmont, 1993 y 1995) la variedad Java muestra un muy buen comportamiento en el campo con respecto al CBD y a la roya, asociado a un gran vigor, una productividad regular, y calidades en la taza satisfactorias. Si se trata de un cultivar seleccionado en el campo, su nivel de resistencia demanda sin embargo ser precisado por medio de estudios más finos, con el fin de hacer una selección en el seno de esta población, ya que su nivel de resistencia no parece ser homogéneo.

Expectativas más amplias se permitieron con la llegada de la enfermedad a Etiopía en 1970 (Robinson, 1974; Van Der Graaf, 1981, 1982). En esta cuna de diversificación de la especie *arabica*, se pudo entonces encontrar fácilmente un gran número de genotipos salvajes que tienen grados

diversos de sensibilidad y que se integran en consecuencia en un sistema de resistencia general, cuantitativo. Probados experimentalmente para confirmar su resistencia, los que presentaban los más altos grados de resistencia fueron integrados en un programa de mejoramiento varietal.

Un cierto número de genotipos etíopes provenientes de las prospecciones francesas efectuados antes de 1970, y llevados a la colección en Camerún, mostraron igualmente, en el campo, un buen nivel de resistencia al CBD. Conviene explotar al máximo este material cuya resistencia, de tipo cuantitativo, tiene todas las posibilidades de ser durable; además, al tratarse de Arabicas puros, los productos de esta selección deberían en principio proporcionar un café de calidad, lo que responde a la exigencia expresada arriba.

Gracias al financiamiento de la Unión Europea, una operación de investigación internacional que agrupa a Francia (CIRAD), a Portugal (CIFC), Camerún (IRAD), Kenia (CRF), se lanzó hace algunos años con el fin de reforzar las investigaciones sobre la resistencia del cafeto al CBD. Esta cooperación comenzó a dar sus frutos principalmente en lo que se refiere a la variabilidad del parásito, y en lo que se refiere a su poder patógeno. Por la realización de técnicas finas, tales como el estudio de los "grupos de compatibilidad vegetativa", aplicadas a un gran número de cepas del patógeno proveniente de los diferentes países africanos, la diversidad genética y geográfica del *C. kahawae* fue en efecto emprendida (Bella Manga *et al.*, 1997); se pudo, al día de hoy, identificar dos grupos de cepas bien distintas, una en Africa del Este, la otra en Camerún, aunque sin embargo con "cepas puente". Esta primera fase de la investigación no permitió poner en evidencia interacciones Hospedero / parásito, lo que muestra que el sistema de relaciones entre *Coffea arabica* y *Colletotrichum kahawae* es de tipo general y no específico; permite también reconocer, en el seno de la especie, varios grupos que tienen las características patogénicas diversas, las cepas camerunesas tienen una agresividad superior a las cepas de Africa del Este, lo que muestra que las selecciones que deben emprenderse en una zona geográfica dada deberán tener como blanco preciso la o las cepas patógenas presentes en esta zona.

La investigación de las mejores cepas de resistencia y la comprensión de los mecanismos de la transmisión de esta resistencia es el principal objetivo de este proyecto. Sin duda, para tales trabajos, las pruebas efectuadas en el órgano naturalmente vulnerable, es decir en el fruto, serán las más probatorias, pero sobre esta base, las investigaciones son evidentemente muy lentas, puesto que necesitan que se desarrolle el fruto en cada una de las generaciones sucesivas que se vaya a probar. Entonces

imperativamente se debe disponer de una prueba rápida, pero fiable, si se quiere obtener resultados en lapsos razonables: una prueba precoz sobre los órganos que no sean las cerezas, permitiría ganar mucho tiempo; la prueba en las plántulas jóvenes adoptada por los investigadores kenianos respondía a esta inquietud. A pesar de que ya haya sido empleada en diversos programas, parece sin embargo necesaria la verificación de la validez del mismo por medio de estudio de la correspondencia entre los resultados obtenidos para un genotipo dado y el comportamiento de este genotipo con respecto a la enfermedad en el campo; es todavía más necesario estandarizarlo bien en todos los niveles (edad fisiológica de la plántula, condiciones de medio ambiente, cantidades de inóculo, modalidades del aporte de este inóculo, etc.) La solidez de las investigaciones emprendidas pueden basarse en una prueba absoluta de la validez de este test.

Sin duda esta prueba sobre las plántulas no es la única solución a este problema; las pruebas sobre los embriones somáticos en diversos estadios de desarrollo deben tal vez considerarse y tendrían una mayor fiabilidad ya que se efectuarían en condiciones mejor controladas.

8 La "Lucha Integrada"

La lucha genética objeto de investigaciones cada vez más profundas, unida a la irrigación precoz, que a su vez es parte integrante de las medidas culturales, con la lucha química, y con la profilaxis que consiste en la eliminación de todas las cerezas presentes en los árboles al momento de la última cosecha (lo que solo es posible en la zona tropical con una única producción anual, pero que constituye también una medida eficaz para luchar contra la moca (*Hypothenemus hampei*), son elementos importantes de lo que comúnmente se llama "lucha integrada".

Viene naturalmente a la mente el buscar otros componentes de la lucha integrada, pero pocos elementos son conocidos en lo que se refiere a la influencia eventual de las prácticas culturales corrientes sobre la enfermedad, y lo que parece conocido sería más bien negativo: de acuerdo con algunos autores, un exceso de cloruro de potasio, o las aplicaciones foliares de sulfato o de quelato de zinc destinadas a combatir las carencias, favorecerían los ataques. Se ha acusado también a algunos fungicidas, en particular los cúpricos, de estimular la esporulación del patógeno, o implicar modificaciones en las relaciones de competencia establecidas

entre los diversos microorganismos que alberga la superficie o el interior de los órganos vegetales (Furtado, 1969; Gibbs, 1972), que pueden llegar hasta a favorecer el *C. kahawae*. Tales aseveraciones, a menudo puramente especulativas, y en contradicción con la eficacia reconocida de estos fungicidas deben ser acogidas con reservas, ya que no han sido demostradas y no pueden conducir a ninguna medida práctica.

9 Conclusión

La antracosis de las cerezas del Arabica, debida al *C. kahawae* es una enfermedad a la que debemos temer por su gravedad, y conviene evitar introducirla en regiones productoras de café que aún están indemnes, en particular en el continente latinoamericano, donde pareciera ser que podría encontrar numerosos sitios favorables par su desarrollo. Sin embargo, hay soluciones que ya están disponibles:

- profilaxis por medio de la colecta de todos los frutos existentes en los árboles al momento de la cosecha, con el fin de reducir la cantidad de inóculo primario y retardar el inicio de la epidemia, esta medida es evidentemente posible solamente en el clima tropical con una única producción anual;
- la lucha química, cuya puesta en práctica puede alivianarse gracias al empleo de productos sistémicos que permiten reducir el número de aplicaciones, pero que conviene combinar con los cúpricos, ya sea mezclándolos, o en alternancia, con el fin de preservar durablemente su eficacia;
- lucha por medio de métodos agronómicos, la irrigación precoz, adelantando el ciclo de producción, permitiendo a los estadios jóvenes de las cerezas, que son las más vulnerables, situarse en un período de reposo del patógeno, y escapar así a la infección, además con un efecto tal sobre la vegetación y la floración que debe considerarse como una garantía para una producción regular de alto nivel que se integra por medio de las prácticas de intensificación de la producción;
- la lucha genética que necesita todavía de esfuerzos importantes de investigación, pero que parece ser al mismo tiempo posible, y al final, el elemento mayor de una lucha integrada cuyos diferentes componentes contribuirán, cada uno por su lado, a la solución del problema.

Bibliografía

- Alvim, P. de T. 1958. Recent advances in our knowledge of coffee tree. *Physiology, Coffee Tea Ind. Flavor Field* 81, 17.
- Anónimo. 1943. Rapport pour les exercices 1940 et 1941. Publ. Inst. Nat. Etud. Agron. Congo belga, Bruselas.
- Anónimo. 1956. Plant pathology and physiology. *Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin (Nairobi)* 21(245): 130.
- Anónimo. 1958. Control of coffee berry disease in Kenya. *Nature* 178(4526): 217-218.
- Anónimo. 1979. Un hongo que ataca en tierras altas. Boletín informativo del sector de divulgación del Servicio Regional de Asistencia a la Caficultura de Variginha, Minas Gerais, Brasil, Instituto Brasileiro do Café (IBC). Rio de Janeiro, Brasil. In *El Café de Nicaragua* 328. Febrero 1979.
- Aubin, V.; Berry, D.; Cilas, Ch.; Mouen Bedimo, J. 1993. L'antracnose des baies du caféier au Cameroun: estimation du délai de chute des baies malades. 15 Coloquio de ASIC. Montpellier, Francia. 6-11 de junio, 1993. p. 807-811.
- Baker, C.J. 1971. Future developments in testing fungicides for CBD and leaf rust. *Kenya Coffee (Nairobi)* 36(425): 191-193.
- _____. 1973. Trials with new and recommended fungicides. *Kenya Coffee (Nairobi)* 38(447): 185-191.
- Barros, R.S.; Maestri, M. 1974. Influença dos factores climaticos sobre a periodicidade do crescimento vegetativo do café. *Revista CERES, Viçosa, Brasil*, 21, 268.
- Bayetta Bellachew. 1997. Arabica coffee breeding in Ethiopia: a review. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997.
- Bella Manga; Bieysse, D.; Mouen Bedimo, J.A.; Akalay, I.; Bompard, E., Berry, D. 1997. Observations sur la diversité de la population de *Colletotrichum kahawae* agent de l'antracnose des baies du caféier Arabica; implications pour l'amélioration génétique. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997.
- Berry, D. 1997. Recherche et création de variétés de caféiers résistants à l'antracnose des baies. 3ème Rapport Scientifique semestriel d'activité, contrat STD III n° TS3- CT94- 0307. Document CIRAD- CP no. 809.
- _____.; Nankam, C.; Mouen Bedimo, J.; Aubin, V. 1991. L'antracnose des baies du caféier arabica (CBD, coffee berry disease) au Cameroun: épidémiologie et lutte chimique. 17 Coloquio de ASIC. San Francisco, EE.UU. 14-19 de julio, 1991. p. 499-509.
- Biratu, T. 1997. Effects of caffeine on coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*). 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997. Poster.
- Bock, K.R. 1956. Investigations of coffee berry disease. *East African Agricultural Journal (Kikuyu)* 22(2): 97-103.
- _____. 1957. Investigations of coffee berry disease. Laboratory studies. *Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin (Nairobi)* 22(258): 155-158.

- Bouharmont, P. 1995. La sélection du caféier Arabica au Cameroun (1964-1991). CIRAD-CP, Montpellier, Francia. Documento interno.
- Butt, D.J.; Butters, B. 1966. The control of coffee berry disease in Uganda. Specialist meeting on coffee research in East Africa (Nairobi). 8-11. 11 p.
- Chevalier, A. 1947. Les caféiers du globe. Lechevalier, Ed. Paris, Francia. Fasc. 3. 156 p.
- Cook, R.T.A. 1973. Screening coffee plants for CBD resistance. Coffee Research Foundation, Kenya. Annual Report 73: 66-68.
- _____. 1975. The effect of weather conditions on infection by coffee berry disease. Kenya Coffee (Nairobi) 40(471): 190-197.
- Coste, R. 1955. Les caféiers et les cafés dans le monde. Maisonneuve et Larose Ed.. Paris, Francia. Tomo 1: 382 p.
- _____. 1989. Caféiers et cafés. Collection "Techniques Agricoles et Productions Tropicales", Maisonneuve et Larose Ed., Paris, Francia..
- _____. 1992. Coffee: the Plant and the Product. Macmillan Ed. 328 p.
- Derso, E. 1997. Coffee diseases and their significance in Ethiopia. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997. Poster.
- Firman, D. 1964. Screening of coffee resistance to Coffee Berry Disease. E. Afric. Agric. J., 29, 192.
- Furtado, I. 1969. Effect of copper fungicides on the occurrence of the pathogenic form of *Colletotrichum coffeanum*. Trans. Br. Mycol. Soc. (Londres) 53: 325-328.
- Gassert, W.L. 1976. Zur Epidemiologie der Kaffeekirschen Krankheit (*Colletotrichum coffeanum* Noack sensu Hindorf) in Athiopien. Inaugural Dissertation, Tropen Institut der Justus Liebig Universität, Giessen, Alemania.,
- Gibbs, J.N. 1969. Inoculum sources for coffee berry disease. Annals of Applied Biology (Londres) 64: 515-522.
- _____. 1972. Effects of fungicides on the population of *Colletotrichum* and other fungi in bark of coffee. Annals of Applied Biology (Londres) 70: 35-47.
- Griffiths, E. 1967. Current views on CBD control. Kenya Coffee (Nairobi) 32(382): 461-462.
- _____.; Gibbs, J.N. 1969. Early season sprays for the control of coffee berry disease. Annals of Applied Biology (Londres) 64: 523-532.
- _____.; Gibbs, J.N.; Waller, J.M. 1971. Control of coffee berry disease. Kenya Coffee (Nairobi) 36(429): 307-328.
- _____.; Waller, J.M. 1971. Rainfall patterns in relation to coffee berry disease. Annals of Applied Biology (Londres) 67:75-91.
- Hendrickx, F.L. 1939. Observations phytopathologiques à la station de Mulungu en 1938. Rapport annuel pour l'exercice 1938 (26 parte). Inst. Nat. Etud. Agron. Congo Belga (Bruselas). p. 117-128.
- _____. 1942. *Colletotrichum* ou *Antestia* ?. Inst. Nat. Etud. Agron. Congo Belga (Bruselas). Série Sci. 26: 10-16.
- Hindorf, H. 1970. *Colletotrichum* spp; isolated from *Coffea arabica* L. in Kenya. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 77:328-331.
- _____. 1972. *Colletotrichum* spp. isolated from *Coffea arabica* L. in Kenya. Kenya Coffee (Nairobi) 37(436): 199-201.

- Hindorf, H. 1974. *Colletotrichum*-Arten aus dem Kaffeeanbaugebiet von Kiambu in Kenia. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* (Stuttgart, Alemania) 81(2/3): 108-113.
- _____; Biratu, T.; Omondi, C. 1997. Correct identification of the pathogen causing coffee berry disease (CBD). 17 Coloquio de ASIC. Nairobi. Kenya. 20-25 de julio, 1997.
- Hocking, D. 1966. Brown blight (*Colletotrichum coffeanum* Noack) of Arabica coffee in East Africa. *Annals of Applied Biology* (Londres) 5 8:409-421.
- Jurion, F. 1936. La brûlure des caféiers. INEAC (Bruselas). Série Scientifique no. 6. 19 p.
- Kranz, J. 1967. Nebenfruchtformen von *Glomerella cingulata*: Rassen oder Arten? In The problem of species and races in fungi. Intern. Symposium, Wernigerode
- Loubet, S.; Bieysse, D.; Michaux-Ferriere, N.; Berry, D. 1997. L'antracnose des baies (CBD) du caféier Arabica: aspects microscopiques des interactions hôte-parasite. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997. Poster.
- Mac Donald, J. 1924. Annual report of the mycologist for the year 1922. Annual Report of the Kenya Department of Agriculture for the year ending 31st December 1922. p. 111-115.
- _____. 1925a. Annual report of the mycologist for the year 1924. Annual Report of the Kenya Department of Agriculture for the year ending 31st December 1924. p. 106-111.
- _____. 1925b. Coffee berry disease. *Tropical Agriculturist* (Colombo) 14(3): 163-165.
- _____. 1926a. Fungoid disease in Kenya colony. Colony and protectorate of Kenya Department of Agriculture, 3, 17 p.
- _____. 1926b. Report of the mycologist. Annual Report Kenya Department of Agriculture for the year ending 31st December 1925. p. 141-143.
- _____. 1926c. A preliminary account of a disease of green coffee berries in Kenya. *Transactions of the British Mycological Society* 11: 145-154.
- _____. 1929. Notes on diseases of coffee in Kenya. Kenya Dept. of Agric. Bull. no. 7.
- _____. 1937a. Report on coffee berry disease investigations in 1936. *Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin* (Nairobi) 3(26).
- _____. 1937b. Rep. Dept. Agric. Kenya. vol. II, p. 1-12.
- Masaba, D.M.; Van der Vossen, H.A.M. 1982. Evidence of cork barrier formation as resistance mechanism to berry disease (*Colletotrichum coffeanum*) in arabica coffee. *The Nederland J. of Plant Pathology* 88: 19-32.
- Mogk, M. 1973. Untersuchungen zur Epidemiologie von *Colletotrichum coffeanum* Noack sensu Hindorf in Kenia; eine Analyse der Wirt-Parasit-Umwelt Beziehungen. Thèse soutenue le 19 juin 1973 à l'Université J. Liebig de Giessen pour l'obtention du titre de Docteur ès Biologie. 163 p.
- Mulder, D.; Hocking, D. 1967. Hypothesis to explain the uneven distribution of coffee berry disease in areas of endemic occurrence. *Mededelingen Rijksfakultat Landbouw-wetenschappen* (GENT). 32(3): 729-734.

- Mulinge, S.K. 1969. Development of coffee berry disease in relation to the stage of berry growth. *Annals of Applied Biology* (Londres) 65: 267-269.
- _____. 1971. Control of coffee berry disease and leaf rust in 1971. *Kenya Coffee* (Nairobi) 36(420): 9-11.
- Müller, R.A. 1958. Première mention de l'antracnose des baies du caféier Arabica au Cameroun. Rapport n° 22 du 8 septembre 1958 du Centre de Recherche Agronomique du Cameroun (Nkolbisson).
- _____. 1959a. Influence de l'ombrage sur la pathologie du caféier d'Arabie au Cameroun (Régions Bamoun et Bamiléké). *L'Agronomie Tropicale* 14(1): 7-22.
- _____. 1959b. La culture du caféier. *Bulletin de la Chambre d'Agriculture du Cameroun* no. 21.
- _____. 1953-1960. Le dessèchement des rameaux du caféier. *Rapports annuels du Centre de Recherche Agronomique du Cameroun* (Nkolbisson).
- _____. 1961. L'antracnose des baies du caféier d'Arabie (*Coffea arabica*) due à *Colletotrichum coffeanum* Noack au Cameroun. *Café, Cacao, The* 5(4): 227-241.
- _____. 1964. L'antracnose des baies du caféier d'Arabie (*Coffea arabica*) due à *Colletotrichum coffeanum* Noack au Cameroun. *Bulletin* no. 6 IRCC. 38 p.
- _____. 1968. La lutte contre l'antracnose des baies du caféier Arabica, due à une forme du *Colletotrichum coffeanum* Noack, au Kenya. *Café, Cacao, The* 12(1): 39-52.
- _____. 1970. L'évolution de l'antracnose des baies du caféier d'Arabie (*Coffea arabica*) due à une forme du *Colletotrichum coffeanum* Noack au Cameroun. *Café, Cacao, The* 14(2): 114-129.
- _____. 1973. L'antracnose des baies du caféier d'Arabie (*Coffea arabica* L.) due à une forme virulente du *Colletotrichum coffeanum* Noack. 1. Variations de la sensibilité des fruits au cours de leur développement. II, L'irrigation précoce, méthode préventive de contrôle de la maladie. *Café, Cacao, The* 17(4): 281-312.
- _____. 1975. L'irrigation précoce, assurance pour une production régulière de haut niveau du caféier Arabica. Analyse des effets d'arrosages de saison sèche et ensoleillée sur la production de l'année, sur l'appareil assimilateur, et sur les poussées végétatives, supports de la floraison future. *Café, Cacao, The* 19(2): 95-122.
- _____. 1977a. La protection des plantes contre les maladies. VIème Conférence Internationale sur les Recherches Cacaoyères, Caracas. Venezuela, 6-12 de novembre, 1977.
- _____. 1977b. L'irrigation précoce du caféier Arabica au Cameroun: méthode moderne de contrôle de l'antracnose des baies (*Colletotrichum coffeanum*) intégrée aux pratiques culturales; - assurance pour une production régulière de haut niveau. 8 Coloquio de ASIC. Abidjan, Costa de Marfil. 28 de novembre-3 de diciembre, 1977.

- Müller, R.A. 1980. Contribution à la connaissance de la phytomycocénose constituée par *Coffea arabica* L., *Colletotrichum coffeanum* Noack, sensu Hindorf, *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., *Hemileia coffeicola* Maublanc et Roger. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI). Reprise dans Bulletin no. 15 IRCC. 174 p.
- _____. 1982. Coffee Berry Disease in Cameroon. II; Some considerations on epidemiology of CBD in Kenya and Cameroon, importance of the disease, methods of evaluation of losses. III. Changes in susceptibility of coffee berries during their development, and consequences, early irrigation, a control method integrated to cultural practices and an insurance for a regular high yield. First Regional Meeting on CBD. Addis-Ababa, Etiopía. 19-24 de julio, 1982.
- _____.; Gestin, A.J. 1967. Contribution à la mise au point des méthodes de lutte contre l'antracnose des baies du caféier d'Arabie (*Coffea arabica*) due à une forme du *Colletotrichum coffeanum* Noack au Cameroun. Café, Cacao, The 11(2):157-178.
- Muthappa, B.N. 1971. Studies on *Colletotrichum coffeanum* in India. II. Cultural studies and the factors affecting spore germination. Journal of Coffee Research (Chikmagalur) 1(3):3-8.
- _____. 1972. Studies on *Colletotrichum coffeanum* in India. 1: Stalk-rot of green berries and leaves of *Coffea arabica* during the wet weather of monsoon: Journal of Coffee Research (Chikmagalur) 2(2): 16-22.
- Nandris, D.; Kolher, F.; Monimeau, L.; Pellegrin, F. 1997. Lutte intégrée contre les ravageurs (IPM), et approche intégrée du pathosystème / *Coffea arabica*. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi. Kenya. 20-25 de julio, 1997.
- Nelson, R.R. 1971. Breeding plants for disease resistance. Concepts and applications. Pennsylvania University Press, Pennsylvania, EE.UU. 400 p.
- _____. 1978. Genetics of horizontal resistance to plant diseases. Annual Review of Phytopathology (Palo Alto, EE.UU.) 16: 359-378.
- Nutman, F.J. 1956. Annual Report. Kenya Dept. of Agric. 1956. 181 p.
- _____.; Roberts, F.M. 1960a. Investigations on a disease of *Coffea arabica* caused by a form of *Colletotrichum coffeanum* Noack. 1. Some factors affecting infection by the pathogen. Trans. Brit. Mycol. Soc (Cambridge) no. 43, parte 3, p. 489-505.
- _____.; Roberts, F.M. 1960b. Investigations on a disease of *Coffea arabica* caused by a form of *Colletotrichum coffeanum* Noack. II. Some factors affecting formation and infection and their relation to disease distribution. Trans. Brit. Mycol. Soc. (Cambridge) vol. 43, parte 4. p. 643-659.
- _____.; Roberts, F.M. 1961. Investigations on a disease of *Coffea arabica* caused by a form of *Colletotrichum coffeanum* Noack. III. The relation between infection of bearing wood and disease incidence. Trans. Brit. Mycol. Soc. (Cambridge) vol. 44, parte 4, p. 511-521.
- _____.; Roberts, F.M. 1969a. Coffee berry disease: epidemiology in relation to control. Experimental Agriculture (Londres) 5: 271-282.

- Nutman, F.J.; Roberts, F.M. 1969b. The effect of fungicidal treatments on sporulating capacity in relation to the control of coffee berry disease. *Annals of Applied Biology (Londres)* 64: 101-112.
- Nyambo, B.T.; Masaba, D.M. 1997. Integrated pest management in coffee: needs, limitations and opportunities. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997.
- Nyoro, J.X.; Sprey, L.H. 1986. Producing Ruiru 11 seedlings. *Kenya Coffee* 51: 7.
- Okioga, D.M. 1975. Occurrence of stains of *Colletotrichum coffeanum* resistant to systemic fungicides currently used for control in coffee berry disease in Kenya. *Kenya Coffee (Nairobi)* 40(470): 170-173.
- _____.; Mulinge, S.K. 1974. Trials with new and recommended fungicides. *Kenya Coffee (Nairobi)* 39(464): 319-322.
- Omondi, C.O.; Hindorf, H., Welz, H.O.; Saucke, D.; Aylecho, P.O.; Mwang'ombe, A.W. 1997. Genetic diversity among isolates of *Colletotrichum kahawae* causing coffee berry disease. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997. Poster.
- Parlevliet, J.E.; Zadoks, J.C. 1977. The integrated concept of disease resistance- a new view including horizontal and vertical resistance in plants. *Euphytica (Wageningen, Holanda)* 26: 5-21.
- _____. 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annual Review of Phytopathology (St. Paul, EE.UU.)*. 17:203-222.
- Porteres, R. 1946. Action de l'eau, après une période sèche, sur le déclenchement de la floraison chez *Coffea arabica* L. *L'Agronomie Tropicale (París, Francia)* 3/4: 148-158.
- Progress Report for the Period April 1971 to March 1972. 1972. Institute of Agricultural Research, Jimma Research Station, Etiopía. 63 p.
- Rayner, R.W. 1948. Latent infections in *Coffea arabica*.. *I. Nature* 161(4085): 245-246.
- _____. 1952. Coffee Berry Disease. A survey of investigations carried out up to 1950. *East Afric. Agric. J. (Nairobi)* 17 (3): 130-170.
- _____. 1954. Coffee berry disease research.. *Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin (Nairobi)* 19(220): 84.
- _____. 1955. Coffee berry disease research. *Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin (Nairobi)* 20(2312): 64.
- Regazzoni, S.; Mouen Bedimo, J.A.; Bar Hen, A.; Berry, D.; Cilas, Ch. 1997. Mise au point de protocoles de traitements contre l'antracnose des baies (CBD) du caféier Arabica au Cameroun. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997. Poster.
- Report of Committe on Coffee Berry Disease. 1934. Kenya Dept. Of Agric. Bull.
- Robinson, R.A. 1974a. Terminal report of the FAO coffee pathologist to the government of Ethiopia. FAO, Roma, Italia. AGO/ 74 / 443.

- Robinson, R.A. 1974b. Terminal Report UNDP / FAO. Institute of Agricultural Research of Ethiopia (Addis-Ababa).
- _____. 1976. Plant pathosystems. Springer Verlag Ed., Berlín, Alemania. 184 p.
- Rodrigues Jr., C.J.; Varzea, V.M.; Medeiros, E.F. 1992. Evidence of the existence of physiological races of *Colletotrichum coffeanum* Noack *sensu* Hindorf: Kenya Coffee 57 (672): 1417-1419.
- Roger, L. 1953. Phytopathologie des pays chauds. Encyclopédie mycologique. Lechevallier Ed., París, Francia.
- Saccas, A.M.; Charpentier, J. 1969a. L'antracnose des caféiers, Robusta et Excelsa due à *Colletotrichum coffeanum* Noack en République Centrafricaine. Café, Cacao, The 13(2): 131-150.
- _____.; Charpentier, J. 1969b. L'antracnose des caféiers Robusta et Excelsa due à *Colletotrichum coffeanum* Noack en République Centrafricaine. Café, Cacao, The 13 (3): 221-230.
- _____.; Charpentier, J. 1969c. L'antracnose des caféiers Robusta et Excelsa due à *Colletotrichum coffeanum* Noack en République Centrafricaine. Bulletin no. 9 IRCC. 84 p.
- Steiner, K.G. 1972. The influence of surface wax obtained from green berries of six selections of *Coffea arabica* on germination of conidia of *Colletotrichum coffeanum*. Kenya Coffee (Nairobi) 37(435) 179.
- _____. 1973. Duration of the activity of fungicides against coffee berry disease (*Colletotrichum coffeanum* Noack). Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz (Stuttgart) 80(9): M 197 . V. 532-546.
- Technical Circular. 1973. Control of coffee berry disease and leaf rust. Kenya Coffee (Nairobi) 39 (445): 94-96.
- Thorold, C.A. 1935. Progress Report on Elgon die-back of coffee. E. Afr. Agric. J. (Nairobi) 1/3: 225-238.
- Van der Graaf, N.A. 1981. The principles of scaling and the inheritance of resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica*. Euphytica 31: 735-740.
- _____. 1986. Coffees. s.n.t.
- _____. 1992. Coffee Berry Disease. In Plant diseases of international importance, IV. Mukhopadhyay, A.N.; Kumar, J.; Singh, U.S.; Chaube, H.S. Englewood Cliffs. 202-230.
- _____.; Pieters, R. 1978. Resistance levels in *Coffea arabica* to *Gibberella xyloarioides* and distribution patterns of the disease. Netherlands Journal of Plant Pathology 84: 117-120. FAO Publication.
- Van der Plank, J.E. 1968. Disease resistance in plants. Academic Press, Nueva York y Londres. 223 p.
- _____. 1971. Stability of resistance to *Phytophthora infestans* in cultivar without R. genes. Potato Research (Wageningen, Holanda). 14(12): 263-270.

- Van der Vossen, H.A.M.; Walyaro, D.J. 1980. Breeding for resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica* L. II. Inheritance of the resistance. *Euphytica* 29: 777-791.
- Vermeulen, H. 1966. Plant pathology. Coffee Research Foundation of Kenya. Annual report. p. 57-60.
- _____. 1968. Screening fungicides for control of CBD in Kenya. *Exp. Agric. (Londres)* 4: 255-261.
- _____. 1979. Coffee berry disease in Kenya. Thèse de Doctorat. Faculté d'Agriculture, Wageningen. 113 p.
- Vine, B.H.; Vine, P.A. 1971. Some practical implications from fungicides trials 1967-1970. *Kenya Coffee (Nairobi)* 3 6(425): 181-189.
- Waller, J.M. 1971. The weather and CBD. *Kenya Coffee (Nairobi)* 36(423): 119-124.
- _____. 1971. The incidence of climatic conditions favourable to coffee berry disease/ *Exp. Agric. (Londres)* 7: 303-314.
- _____.; Bridge, P.M.; Black, R.; Hakiza, G. 1993. Characterization of the coffee berry disease pathogen, *Colletotrichum kahawae* sp. nov. *Mycological Research* 97 (8): 989-994.
- Wallis, J.A.N.; Firman, I.D. 1965. Spraying Arabica coffee for control of coffee berry disease. *Ann. Appl. Biol. (Londres)* 55: 139-148.
- _____.; Firman, I.D. 1967. A comparison of fungicides spray volumes for control of coffee berry disease. *Ann. Appl. Biol. (Londres)* 59: 111- 122.
- Walyaro, D.J. 1997. Breeding for disease and pest resistance, and improved quality in coffee. 17 Coloquio de ASIC. Nairobi, Kenya. 20-25 de julio, 1997.
- _____.; Van der Vossen, H.A.M.; Owuor, J.B.O. 1982. Breeding arabica coffee in Kenya for resistance to coffee berry disease. Workshop "Coffee Berry Disease". Addis Ababa, Etiopía. 19-23 de julio, 1982. p. 189-202.
- Watson, J.A. 1970. Changes in virulence and population shifts in plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology (St. Paul, EE.UU.)* 8: 209-230.
- Wrigley, G. 1988. Coffee. *Tropical Agriculture Series*. Longman Ed. 344 p.
- Zadoks, J.C.; Shein, R.D. 1979. *Epidemiology and plant disease management*. Oxford University Ed., Nueva York, EE.UU. 429 p.

CAPÍTULO 9

LA BROCA DE LOS FRUTOS DEL CAFETO: ¿LA LUCHA BIOLÓGICA COMO SOLUCIÓN?

*Bernard Dufour**, CIRAD-CP/IICA-PROMECAFE-PROCAFE

Juan Francisco Barrera, ECOSUR (México)

Bernard Decazy, CIRAD-CP, MAG (Ecuador)

1 *Introducción*

Hypothenemus hampei Ferrari es sin ninguna duda la plaga más preocupante para la caficultura mundial, si nos referimos a los numerosos datos publicados desde hace más de sesenta años, sobre los niveles de infestación de este insecto en los diferentes países, así como a las pérdidas de rendimientos, de las cuales el insecto es la causa principal (Sladden, 1934; Toledo, 1947; Hernández-Paz y Sánchez-de-Léon, 1972; Morallo-Rejesus y Baldos, 1980; Reid, 1983; Murphy y Moore, 1990; Guzmán *et al.*, 1997) (foto 9-1). Daremos como único ejemplo los niveles de infestación señalados en octubre y noviembre 1996 por Guzmán *et al.* (1997) en una plantación de la región de Cotui en República Dominicana, que corresponden respectivamente a 60.41% y 67.55% de los frutos de café en cereza perforados.

Únicamente la hembra de *H. hampei* participa en la colonización del café en cereza (Giordanengo, 1992) genera daños (foto 9-2). El primer tipo de daños corresponde a la caída de los frutos. Es provocada por el ataque

* Final Avenida Norte. Apartado postal 26. Santa Tecla, El Salvador. Fax: (503) 228 06 69. Correo electrónico: iicasv@es.com.sv



Foto 9-1. Hembra adulta de *Hypothenemus hampei* (broca).



Fotos 9-2 y 9-2bis. Daños al fruto y a la semilla de café ocasionados por la broca.

al café de las cerezas jóvenes cuando todavía están en estado lechoso (Oliveira Filho, 1927; Morallo-Rejesus y Baldos, 1980; Decazy, 1989). El segundo tipo de daño está ligado a la depredación del endosperma cuando el mismo, que se ha vuelto semiconsistente, ofrece condiciones favorables para la ovoposición, la alimentación de los adultos y para el desarrollo de los estadios larvarios (Hargreaves, 1926; Waterhouse y Norris, 1989; Decazy, 1989). Hablamos entonces de pérdidas directas, en frutos y en peso de los frutos, que pueden ser considerables en el caso de fuertes infestaciones. Se habla entonces de pérdidas indirectas si nos referimos a la depreciación de la calidad comercial del café cuando ha sido dañado por la broca.

El modo de vida del *H. hampei* es, sin duda, la principal causa de su sorprendente poder de adaptación y de dispersión. En efecto, la broca pasa casi todo su ciclo de vida en el interior de una fruta que le procura su alimento y protección contra los diferentes factores del medio. En cuanto a su dispersión, principalmente la que se efectúa a largas distancias, está garantizada por el insecto mismo gracias al vuelo (Baker, 1984, 1986; Decazy, 1989) por la acción directa del hombre, al momento del transporte del café en cereza infestado (Sladden, 1934). En estas condiciones, ¿será posible pretender la erradicación de la broca en las regiones donde el café es un monocultivo y donde las actividades humanas son intensas? La mayoría de los autores piensan que no, sobre todo a la luz de las experiencias pasadas, sobre todo la de Guatemala, que presentaremos luego (Baker, 1986; Decazy, 1989).

Actualmente, la idea de "vivir con la broca" se ha abierto camino. Entonces hay que luchar para bajar los niveles de infestación a valores económicamente aceptables. Los problemas socioeconómicos de la cadena café y las exigencias en materia de protección del medio ambiente, hacen que la lucha integrada se haya vuelto un modelo a seguir para la mayoría de los países productores y en particular para América Central (Moore y Prior, 198; Decazy, 1989; Dufour y Decazy, 1997). Sin embargo, el nivel de los conocimientos sobre la bioecología de la broca es todavía insuficiente para pretender hoy en día, la instauración de una lucha integrada que tendría, por ejemplo, todas las ventajas de la lucha química, sin sus inconvenientes. No obstante, una primera etapa ha sido superada, con el desarrollo de la lucha biológica que numerosos adeptos desean ver reforzada con el fin de constituir el principal eslabón de la lucha integrada (Decazy *et al.*, 1995).

2 Origen de la Especie y Dispersión a Través del Mundo

2.1 Posición taxonómica y origen de la especie

H. hampei fue descubierto por primera vez en Francia, en granos de café importados. Ferrari hizo su descripción en 1867 y le dio el nombre de *Cryphalus hampei* (Oliveira Filho, 1927). Eichhoff (1871) introdujo la especie dentro del género *Stephanoderes*, el cual fue rápidamente comparado con el género *Hypothenemus* descrito por Westwood (1836). Varias especies descritas fueron puestas en sinonimia con *Stephanoderes hampei* Ferrari (Oliveira Filho, 1927). *S. coffea* Hagedorn, 1920, *Xyleborus coffeivorus* van der Weele, 1910 y *X. coffeicola*, Campos Novaes, 1922. Habrá que esperar a 1963 para que Browne demuestre que el género *Hypothenemus* es idéntico al género *Stephanoderes* (Koch, 1973). Según la regla de la anterioridad, es el género *Hypothenemus* el que será retenido.

La posición taxonómica del insecto establecida por Balachoswsky (1949) fue dada a la luz por Crowson en 1955 (ver Delvare y Aberlenc, 1989):

Orden	Coleoptera
Suborden	Polyphaga
Infra grupo	Curcujiformia
Super familia	Curculionoidea
Familia	Scolytidae
Sub familia	Ipinae
Super tribu	Ipini
Tribu	Cryphalina
Género	<i>Hypothenemus</i> Westwood 1834
Especie	<i>hampei</i> (Ferrari 1867)

Numerosos autores concuerdan en decir que la broca del café es originaria de África Ecuatorial (Bergamin, 1943; Le Pelley, 1968), que infesta especies de cafetos indígenas. Tohill (1940) precisa, por ejemplo, que la plaga es abundante en Uganda en las formas silvestres de *Coffea canephora* que crecen en el bosque húmedo. Otros autores no descartan la teoría de un origen etíope, la misma por otro lado, que la de *C. arabica* (Murphy y Moore, 1990), tomando en cuenta la anterioridad del cultivo de este *Coffea* con respecto al de *C. canephora* y más precisamente la importancia del comercio del café "arabica" al momento en que *H. hampei* fue descubierto.

2.2 Breve reseña histórica sobre su diseminación

Después de la descripción que hizo Ferrari en 1867, la broca de los frutos de cafeto fue observada en sus condiciones naturales, por primera vez en Gabón en 1901, luego en Zaire en 1903 (Le Pelley, 1968). En Uganda se registraron fuertes infestaciones, de 1908 a 1909 (Le Pelley, 1968), luego el insecto fue encontrado en Java en 1909 por Van deer Weele (1910), quien lo describió bajo el nombre de *Xyleborus coffeivorus*. Posteriormente se le señalará un poco en toda África: Ticheler (1961) cita a Angola (Hagedorn, 1910), Tanganyika (Morstatt, 1914), Costa de Marfil (Beille, 1925), Kenia (Wilkinson, 1928).

La broca fue introducida accidentalmente hacia 1913 en Brasil, donde se puso realmente en evidencia en 1924, en el estado de Sao Paulo (Da Costa Lima, 1924). Las primeras tentativas de lucha biológica comenzaron desde 1929 con la introducción del parasitoide *Prorops nasuta*, proveniente de Uganda (Hempel, 1934).

H. hampei se diseminó un poco por todas partes en el mundo, tanto en Asia como en la zona Pacífica y en América. Su introducción en América Central es relativamente reciente. Se registró en 1971 en Guatemala (Hernández Paz y Sánchez de León, 1972), donde fue objeto de una severa campaña de lucha. La broca se dispersó luego rápidamente en los países vecinos: fue descubierta en Honduras en 1977 (Arias, 1979), en México en 1978 (Baker, 1984), en el Salvador en 1981 (Vega y Romero, 1985), luego en Nicaragua en 1988 (Barrios y Centeno, 1994). Ecuador y Colombia no escaparon a la diseminación. El primero fue declarado infestado por la plaga en 1986 (Klein-Koch, 1986), y el segundo, dos años más tarde (Cárdenas, 1994). La región del Caribe se vio también afectada: la presencia de la broca fue confirmada en 1978 en Jamaica (Mc. Pherson, 1978). El país que más recientemente ha sido contaminado es República Dominicana donde varios focos fueron detectados en 1995 (Campos y Dufour, 1995).

2.3 Situación actual

Costa Rica y Panamá son los únicos países de América Central productores de café, libres de toda infestación con *H. hampei*. La broca parece no haber alcanzado ni Cuba, ni Haití ni Puerto Rico.

Las principales medidas tomadas para retardar la dispersión de la plaga han sido, desde hace mucho tiempo, de naturaleza cuarentenaria. Bergamin (1943) hace referencia al decreto de 1922, elaborado por el Ministerio francés de las colonias, que prohíbe el tránsito o la circulación de productos susceptibles de diseminar *H. hampei* en las regiones todavía indemnes. Actualmente, la broca se considera siempre como un insecto de cuarentena. Sin embargo, su presencia tiende inevitablemente a generalizarse en todos los países productores de café, ya que, con el extraordinario crecimiento del comercio internacional, los riesgos de diseminación se vuelven cada día mayores.

3 Los Diferentes Aspectos Bioecológicos

H. hampei pertenece a una familia, y más precisamente a un género donde la mayoría de las especies sacan su alimento de la madera o de los frutos de numerosas plantas leñosas de importancia económica, en las regiones tropicales, subtropicales y templadas (Johanneson y Mansingh, 1984).

Como todos los Scolytidae, *H. hampei* es entonces un barrenador cuyo ciclo biológico se mantiene invisible con excepción de su corta fase de dispersión (Rudinsky, 1962). Para comprender la extraordinaria adaptación de esta plaga, y explicar los fundamentos de las diferentes alternativas de lucha contra este insecto, conviene presentar primero sus características biológicas y ecológicas.

3.1 Descripción morfológica

H. hampei es un insecto holometábolo, cuyo ciclo de desarrollo presenta 4 estados sucesivos: huevo, larva, ninfa y adulto (foto 9-3).

El adulto presenta al momento de la eclosión, una coloración marrón claro que se oscurece conforme pasan los días, para transformarse en negro brillante. El tamaño de las hembras es en promedio de 1.7 mm de largo (Sladden, 1934). Según Waterhouse y Norris (1989), las diferencias de tamaño observadas en numerosos especímenes habrían tenido una relación con su origen geográfico.

Para Moore *et al.*, (1990) y Giordanengo (1922), se puede observar una disminución en el tamaño de los insectos cuando hay una sobrepo-



Foto 9-3. Estados de desarrollo de *Hypothenemus hampei* (broca): huevos, larva, ninfa y adulto.

blación en el café en cereza infestado, y que las reservas alimenticias se agotan. Finalmente, debe precisarse que el dimorfismo sexual es particularmente visible en la diferencia del tamaño ya que la hembra es 1.4 veces más grande que el macho (Sladden, 1934; Bergamin, 1943). Los ojos y las masas de las antenas están también más desarrollados en la hembra (Mbondji, 1974; López, 1993). Es importante también indicar que los machos llevan un par de alas atrofiadas que los hace no aptos para el vuelo.

3.2 *Ciclo biológico*

La duración del ciclo de desarrollo de *H. hampei* depende de las condiciones de temperatura. Los datos de Bergamin (1943) obtenidos en laboratorio son frecuentemente citados: de la postura al momento en que emerge el adulto, a una temperatura promedio de 27°C y en una cámara húmeda, la duración del desarrollo es de 21 días. Los estados huevo, larva, preninfa y ninfa tienen, respectivamente una duración de 4, 11, 2 y 4 días. La duración de una generación debe tomar en cuenta el ciclo, desde el momento de la infestación del fruto por la hembra fundadora, hasta la

emergencia de las hembras jóvenes. El número de generaciones anuales fue evaluado en 7 para Brasil (Bergamin, 1943) y 13 para la Costa de Marfil y Togo (Ticheler, 1961; Borbón-Martínez, 1989). La duración de vida de las hembras es siempre más larga que la de los machos. Los valores citados en la literatura son extremadamente variables, probablemente influenciados por las condiciones experimentales diferentes. Bergamin (1943) da los promedios más elevados: 157 días para una muestra de 54 hembras y 87 días para los machos.

3.2.1 *La colonización y la postura*

En situación de escogencia, la hembra fundadora coloniza las frutas maduras. Perfora generalmente el fruto a nivel del disco y perfora una galería de penetración hasta el endosperma que puede alcanzar en unas horas (Hernández Paz y Sánchez de León, 1972; Pénados y Flores, 1974). Si la consistencia del endosperma es adecuada, la hembra acondiciona una cavidad y comienza a poner los huevos. En el caso contrario se inmoviliza en el mesocarpio. Algunas fundadoras abandonan los frutos inmaduros para colonizar otros hasta encontrar los que tengan una consistencia adecuada (Ticheler, 1961; Hernández Paz y Sánchez de León, 1972).

Los datos bibliográficos señalados por Mathieu (1995) indican que la hembra pone en promedio de 31 a 74 huevos en un período de 20 a 131 días, en una cadencia de 2 a 4 por día. Varias generaciones pueden sucederse en el mismo fruto (Sladden, 1934). Están entonces en cohabitación los estados inmaduros, machos, fundadoras y hembras jóvenes.

3.2.2 *El apareamiento*

Las poblaciones de *H. hampei* están caracterizadas por una relación de sexo (*sex ratio*) relativamente estable: aproximadamente 1 macho para 10 hembras (Hargreaves, 1926; Sladden, 1934; Bergamin, 1943; Le Pelley, 1968). El apareamiento de los sexos siempre se da en el fruto, en la oscuridad y en presencia de endosperma de café; puede producirse algunas horas después de la emergencia, ya que la maduración sexual de los machos y de las hembras es efectiva muy rápidamente (Giordanengo, 1992). El número de fecundaciones efectuadas por el único macho es variable: los resultados de Giordanengo (1922), se inscriben en un intervalo de 70 a 128. Los apareamientos se hacen entonces esencialmente entre hermanos y hermanas, lo que plantea el problema del mantenimiento de la variabilidad genética en el seno de la especie (Sladden, 1934; Giorda-

nengo, 1992). ¿Existen fecundaciones inter lineales? O bien ¿existirá una regulación natural que permita eliminar los cigotos consanguíneos?. No se excluye que los machos puedan ir de un fruto en cereza al otro, a pesar de que numerosos autores concuerdan en decir que los machos se mantienen en el fruto en el cual emergieron. No se ha reportado, con excepción del caso de Muñoz (1990), ningún caso de reproducción partenogénica.

3.2.3 *La dispersión*

El modo de dispersión de las hembras fundadoras está estrechamente ligado al ciclo fenológico del cafeto. En América Central, la alternancia muy marcada de las estaciones seca y lluviosa, contribuye a limitar en el tiempo los periodos de floración y de fructificación que conducen finalmente a la realización de una única cosecha anual.

- Las hembras fundadoras provenientes de los frutos no cosechados (o frutos residuales) son las que originan principalmente la fase de dispersión, la que va a permitirles colonizar la nueva fructificación. Esta fase interviene hacia el final de la estación seca. La humedad, sobre todo la que puede ser generada por una lluvia es el principal factor de inicio de estas migraciones (Baker *et al.*, 1992 a). Las temperaturas elevadas favorecen el fenómeno. Es durante el período más caliente de la jornada, que la actividad de dispersión es mayor (Sladden, 1934; Hernández Paz y Sánchez de León, 1972, Baker *et al.*, 1992a; Giordanengo, 1992). ¿Cuál es el status fisiológico de estas fundadoras provenientes de los frutos residuales? Según Mathieu (1995), casi todas habrían sido fecundadas, pero en edades diferentes. La aptitud para el vuelo de las de edad más avanzada no ha sido demostrada.
- La dispersión de las generaciones siguientes se hace a todo lo largo de la fructificación, hasta la cosecha y más allá, hasta la desaparición completa de los frutos apetecibles. Estas fundadoras son jóvenes, con una edad de apenas unos doce días (Bergamin, 1943; Giordanengo, 1992) y poseen una musculatura alar funcional (Tichelet, 1961). Según Corbett (1933) y Bergamin (1943), todas las fundadoras estarían fecundadas antes de su emergencia. Sin embargo López y Frérot (1993), indican que únicamente el 61.7% de las hembras emergen fecundadas. El modo de dispersión de las hembras vírgenes no ha sido precisado por estos autores, sin embargo, parece ser que lo hacen caminando, puesto que esta categoría de hembras no es apta para el

vuelo (Giordanengo, 1992). De manera general, *H. hampei* es un mal volador; su dispersión se hace a distancias cortas, 200 a 300 m como máximo, según Leplay (1928). La hipótesis de una dispersión de mayor amplitud ha sido sin embargo defendida (Sladden, 1934; Baker, 1984). Estaría favorecida por las convecciones térmicas y los vientos.

- Finalmente, durante los períodos de ausencia total de frutos apetecibles, *H hampei* se mantiene en estado de supervivencia en el interior de los frutos secos. Rhodes y Mansingh (1981), citados por Waterhouse y Norris (1989) señalan la existencia de un fenómeno de diapausa que puede durar varios meses. Menos afirmativo, Mathieu (1995) formula la hipótesis de un "detenimiento momentáneo del desarrollo". La única dispersión observada es la migración de las hembras hacia otros frutos secos, los cuales pueden albergar ocasionalmente un número muy elevado de individuos.

3.3 Características bioecológicas

3.3.1 Condiciones macro y micro climáticas

Los estudios conducidos en Chiapas, México, muestran que las mejores condiciones para el desarrollo de *H. hampei* corresponden a temperaturas promedio anuales que oscilan entre 23°C y 25°C, las cuales están igualmente presentes en zonas de altitud mediana, entre 500 y 1000 m (Baker *et al.*, 1989). en zonas bajas, las temperaturas máximas y los períodos de sequía prolongados son desfavorables para la broca; por el contrario, en altura, la baja en las temperaturas contribuye al aumento sensible de la duración del ciclo de desarrollo y por ende hace más lento el proceso de infestación. Las necesidades de humedad de *H. hampei* hacen que la sombra, tradicionalmente utilizada en caficultura, favorezca su desarrollo y su multiplicación (Barrera, 1994).

3.3.2 Comportamiento alimentario

H. hampei está considerado como monófago, ya que su desarrollo completo solo es posible en un número limitado de especies del género *Coffea* (Johanneson y Mansingh, 1984). Chevalier *in* Le Pelley (1968) cita *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei*, *C. dybowskii* y *C. liberica*. Encontramos sin embargo la broca en otras plantas además de *Coffea*, principalmente

fuera de los períodos de fructificación del cafeto (Saldden, 1934; Ticheleer, 1961). Estas plantas constituyen más un refugio que un hospedero.

3.3.3 Comportamiento de infestación

La orientación de las fundadoras de *H. hampei* hacia su hospedero está bajo la dependencia de estímulos visuales y olfativos. Las hembras muestran una preferencia por el café en cereza maduro debido a su color rojo (Ticheler, 1961; Giordanengo *et al.*, 1993; Mathieu, 1995) y a su aptitud para emitir algunas sustancias atractivas volátiles o kairomonas (Mathieu, 1995). Sin embargo conviene precisar que la percepción visual de un café en cereza no sería efectiva sino a muy cortas distancias y que la percepción olfativa sería la única responsable de la detección y de la búsqueda del hospedero. Las propiedades kairomonales de la mezcla:etanol metanol se conocen bien actualmente, pero la identificación de otros compuestos activos que intervienen en la composición de los fragancias emitidas por los frutos en cereza de las diferentes variedades y de los diferentes estados de madurez, todavía no se ha realizado completamente.

De las pruebas efectuadas en café en cereza fresco muestran que *C. canephora* var *robusta* es más atractivo que las variedades de *C. arabica* (Mathieu, 1995). Sin embargo, el olor sólo constituye un eslabón en la sensibilidad varietal del cafeto (Koch, 1973; Mathieu, 1995). Otras etapas intervienen en el desarrollo de las infestaciones: el reconocimiento del hospedero, la instalación, etc.

La distribución agregativa de los ataques de la broca en el campo es un fenómeno todavía no explicado. La existencia de mediadores químicos y más precisamente de feromonas de agregación es una hipótesis adelantada por varios autores (Mendoza Mora, 1991; Giordanengo, 1992; Mathieu, 1995). De igual manera que otros insectos, los estímulos responsables de la agregación podrían ser de origen interactivo: feromonas y kairomonas.

3.3.4 Los factores naturales de regulación

Es importante subrayar aquí el papel de los enemigos naturales de la broca. En 1990, Murphy y Moore enumeraron, en el mundo, 6 himenópteros parasitoides, 2 de rapiña, 1 nematodo y 4 hongos entomopatógenos, entre los cuales está *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill. y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.). en su mayoría son de origen africano, presentan general-

mente variaciones extremas en cuanto a sus niveles de población, su distribución y sus efectos reguladores. Algunos de ellos se han aclimatado en el continente americano después de haber sido introducidos en el marco de programas de lucha biológica. *Prorops nasuta* Waterson (Bethyidae) fue el primer parasitoide utilizado en lucha biológica en Brasil, poco tiempo después de la introducción accidental de *H. hampei*. Actualmente, *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Bethyidae) es el parasitoide más estudiado y con el que más se ha experimentado, sobre todo en América Latina. Conviene citar *Phymastichus coffea* La Salle (Eulophidae) cuya acción parasitaria sobre las brocas adultas hace que sea un agente de regulación muy prometedor para los programas de lucha futuros. Sin embargo el grado de especificidad todavía se conoce poco y las consecuencias ecológicas de su introducción no han sido realmente evaluadas. *B. bassiana* es sin duda alguna el enemigo natural más cosmopolita: se le encuentra en todos los continentes. Producido tanto de manera artesanal como industrial, se utiliza como un mico pesticida.

4 Las Medidas de Combate en América Central

4.1 Primeras medidas: tentativas de erradicación

La experiencia más demostrativa fue la de Guatemala. Una campaña nacional de erradicación fue llevada a cabo justo después del descubrimiento de los primeros focos de infestación (Hernández Paz y Sánchez de León, 1972). ¿Su finalidad? Delimitar exactamente las superficies infestadas, luchar contra la broca hasta su posible erradicación, establecer un cordón sanitario de cuarentena con el fin de evitar una eventual diseminación de la plaga y mantener las pérdidas de cosecha en su nivel más bajo.

Durante varios años, las medidas drásticas fueron aplicadas en la zona de cuarentena: detección de focos de infestación, cosecha prematura de los frutos infestados, tratamientos químicos de los cafetos, de los frutos maduros al momento de la cosecha, del café pergamino, recolección de los frutos residuales, tratamiento químico de la pulpa, del suelo, medidas cuarentenarias sobre los productos agrícolas y principalmente el banano, control de la aplicación de los reglamentos fitosanitarios. Si bien es cierto que la campaña pudo frenar la dispersión de la broca y permitió la erradicación de los pequeños focos, no logró el resultado deseado, y sin embargo costó extremadamente caro. Los únicos efectos positivos fueron

sensibilizar a los caficultores sobre la necesidad de luchar contra la plaga, y formar el personal técnico en lo concerniente a las normas de lucha (Decazy, 1989).

4.2 Combate racional y nacimiento de un proceso de lucha integrada

La recomendación más generalizada para la lucha química en los diversos países productores de América Central ha sido hasta la actualidad en favor del endosulfan aplicado en pulverización acuosa. La dosis varía de 200 a 1000 g/ha de materia activa, según los usuarios y los países. Sin embargo, los estudios efectuados en Guatemala en 1987 permitieron evaluar la dosis mínima eficaz de 595 g/ha en materia activa. La mejor eficacia se sitúa 14 días después de la aplicación y se mantiene constante hasta al día 28 (Decazy, 1989). En general, en las condiciones de América Central, una única aplicación protege la producción hasta la cosecha: debe ser efectuada cuando los frutos de la primera floración representativa están todavía en estado lechoso, o sea dos meses y medio a tres meses después de esta floración.

La lucha química tiene una acción casi inmediata sobre las poblaciones de broca y presenta niveles de eficacia que pueden sobrepasar 95%, sobre todo con endosulfan. Sin embargo, el costo elevado de los insecticidas ha incitado a numerosos caficultores a efectuar tratamientos en función de un umbral de daños económicos evaluado para toda su plantación o bien para las diferentes parcelas que los constituyen. Entonces adoptaron el principio de muestreo de poblaciones de broca necesario para la determinación de los niveles de infestación y que conducía finalmente a la toma de decisión en cuanto al inicio de la lucha. Diferentes métodos de muestreo han sido elaborados recientemente (Rémond, 1996): todavía debe realizarse su validación y su divulgación.

A pesar de los progresos efectuados estos últimos años en materia de aplicación de insecticidas, es claro que las grandes tendencias en favor de la producción de un café de calidad en el marco de una caficultura sostenible, en favor también de la protección del medio ambiente y de la salud pública, han contribuido a desacreditar la lucha química y a reforzar los fundamentos de la lucha integrada. Conviene agregar que la evidenciación de un caso de resistencia al endosulfan en Nueva Caledonia (Brun *et al.*, 1989, 1990; Brun y Suckling, 1992) incitó a todas las instituciones de

Investigación en Café, de la región centroamericana, a orientar sus programas de investigación hacia soluciones "biológicas".

4.3 Recomendaciones actuales y proyectos de estudios

Si nos referimos a las recientes versiones de los manuales de vulgarización sobre la caficultura en la zona mesoamericana (PROCAFE, 1997b), parece ser que las diferentes alternativas que ofrece la lucha integrada, ocupan un sitio primordial en las recomendaciones destinadas a la lucha contra la broca. Entre estas alternativas, conviene citar:

- **La cosecha sanitaria** o actividad de recolección de los frutos residuales, justo después de que termina la última cosecha. Su papel es considerable puesto que permite eliminar el principal refugio y la única fuente alimentaria de las brocas durante el período post-cosecha. Estos frutos, cuando son cosechados suficientemente temprano, tienen un valor comercial y su venta permite cubrir el costo de cosecha. Muy a menudo, la cosecha sanitaria es confiada a mano de obra externa a la plantación. Se vuelve entonces una práctica bien aceptada por la remuneración que genera, pero por el contrario, su papel en la lucha contra la broca se toma poco en cuenta. Las consecuencias son evidentes, la cosecha sanitaria se hace bien en parcelas planas bien mantenidas, a menudo es dejada de lado en las zonas de acceso difícil y con malezas.
- **La poda de los cafetos, de los árboles de sombra, y la lucha contra las malezas.** Son en realidad, actividades agronómicas que forman parte del esquema clásico de mantenimiento de un cafetal. Su interés para la lucha contra la broca es que garantiza una mejor penetración de los rayos solares al interior del cafetal. Se favorece así el secado rápido de los frutos residuales tanto en el suelo como en las ramas del cafeto, afectando la supervivencia de la plaga. En el plano práctico, estas diferentes actividades refuerzan la calidad de la cosecha sanitaria al facilitar su desarrollo.
- **La cosecha de los frutos prematuros:** este método es obligatorio y exige de mano de obra. Sin embargo, los resultados de las encuestas de terreno son formales: la cosecha de los frutos prematuros, generalmente muy atacados por la broca, conlleva una disminución sensible de las infestaciones de la cosecha principal. Es claro que estos frutos precozmente infestados constituyen una fuente importante de hembras fundadoras, capaz de aniquilar todos los efectos de una buena cosecha sanitaria efectuada con anterioridad.

- **El combate biológico:** los lanzamientos parasitoides tales como *P. nasuta*, *C. stephanoderis*, se recomiendan principalmente en período de post-cosecha, entre enero y abril, cuando las poblaciones de broca están concentradas en los frutos residuales. Tienen como objetivo reducir lo más que se pueda el número de estados inmaduros que dan origen a las hembras fundadoras aptas para colonizar la futura cosecha. En cambio, las aplicaciones de *B. bassiana* se efectúan en el momento en que las fundadoras vienen a perforar los primeros frutos. Las condiciones climáticas son determinantes para provocar las epífitas: el desarrollo del hongo exige calor y humedad. Si los biopesticidas basados en *B. bassiana* ya se producen industrialmente, los parasitoides se multiplican todavía de manera artesanal.

Actualmente se tienen en la mira otros métodos. El poner trampas a la broca en el período de post-cosecha parece muy prometedor, pero antes habrá que entrar en los misterios de la atracción que sufre la broca por los compuestos kairomonales, para los cuales se empieza a experimentar los efectos. Por otro lado, la creación de variedades de cafetos resistentes a la broca son una vía de investigación que está a la orden del día: será probablemente difícil de explorar y se requiere de mucho tiempo para ponerlo en marcha.

5 El Combate Biológico con *Cephalonomia stephanoderis*: Una Opción que se Perfecciona y se Desarrolla

Es interesante constatar que la introducción de parasitoides en México, hace apenas 10 años, y luego en América Central, le dio un impulso considerable al combate biológico contra la broca. Incluso antes que se conozca acerca de las posibilidades de aclimatación de estos organismos, los fundamentos del combate, sus niveles de eficiencia y su rentabilidad, la idea de controlar la broca sin aplicaciones químicas había cautivado las instituciones de investigación y entusiasmado numerosos caficultores. Estaba claro desde el inicio que la importación de parasitoides iba a contribuir a la reconstitución de la diversidad de enemigos naturales de la broca, tal como existe en las plantaciones africanas, pero con una ventaja adicional: la ausencia de hiper parasitoides. Se podía entonces esperar a largo plazo un nivel de equilibrio cuyas variaciones serían fáciles de controlar. ¿Cuál es la situación actual? Las limitaciones económicas e institucionales no permitieron alcanzar el objetivo en su totalidad, es decir estudiar y multiplicar en forma concomitante todas las especies de parasitoides. Los esfuerzos se concentraron sobre el estudio de *Cephalonomia*

stephanoderis. En las líneas que siguen, se tomará este parasitoide como ejemplo para ilustrar la evolución del combate biológico contra la broca y para mostrar que es posible avanzar aun más en este campo, a pesar del difícil contexto socio-económico. Por supuesto, cualquier avance en materia de combate biológico es una ventaja adicional para el combate integrado.

5.1 Antecedentes

En 1985, se formalizó un proyecto de carácter internacional¹ para introducir a México en el Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)² los parasitoides de origen africano de esta plaga, que en aquel entonces se limitaban a los betílidos *Prorops nasuta* y *C. stephanoderis* y al braconídeo *Heterospilus coffeicola*. Las actividades correspondientes a la búsqueda de estos parasitoides en África, el desarrollo de los primeros métodos de cría en laboratorio y algunas observaciones de laboratorio y campo sobre su biología y comportamiento, fueron realizadas por el IIBC³ de Inglaterra. Tras un período de cuarentena en Inglaterra, en marzo de 1988, a partir de insectos enviados por lo general de Togo CIRAD (Francia), se iniciaron las introducciones a Tapachula, Chiapas, México de *P. nasuta* y *C. stephanoderis*, precisamente en los laboratorios de ECOSUR (Barrera *et al.*, 1990a; Murphy y Rangi, 1991). No obstante los esfuerzos realizados, el pie de cría de *P. nasuta* se perdió antes de su liberación en campo. De esta manera, y dada la facilidad de cría de *C. stephanoderis* y su adaptación en el campo, el proyecto de investigación en México se concentró en este parasitoide (Barrera *et al.*, 1990c). Posteriormente, en 1990, fue introducido de Tapachula a Guatemala, Honduras y El Salvador, donde se iniciaron importantes programas de investigación en control biológico (Barrera *et al.*, 1990b). Casi al mismo tiempo de la introducción de estos parasitoides a México, un proyecto similar dió inicio en Ecuador.

-
- 1 Proyecto TS2A-0234-M (CD) financiado por la CE, con la participación de: IICA/PRO-MECAFE, CIRAD y IIBC.
 - 2 El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) nace en 1994 a raíz del cambio de denominación del Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES).
 - 3 Ahora Centre for Agriculture and Biosciences International (CABI)

5.2 Biología de *C. stephanoderis*

C. stephanoderis fue descubierto por J.H.G. Ticheler en 1960 en Costa de Marfil (Ticheler, 1961). Este autor llevó a cabo los primeros estudios sobre la bioecología de *C. stephanoderis*, proseguidos más luego por Koch (1973). Posteriormente, a raíz de su introducción a Brasil, Colombia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México y Nicaragua, se han publicado varios artículos que dan cuenta de su biología y comportamiento (i.e. Klein-Koch *et al.*, 1988; Barrera *et al.*, 1989, 1993, 1994; Abraham *et al.*, 1990; Infante *et al.*, 1992, 1993, 1994; Infante y Luis, 1993; Barrera, 1994).

C. stephanoderis es un ectoparasitoide primario y específico de *H. hampei* (foto 9-4); sin embargo, puede parasitar a *H. obscurus* (Arcila *et al.*, 1997). La hembra recién emergida se aparea con un macho en el fruto y sale para buscar a otro fruto infestado por la broca. Antes de la parasitación, se alimenta de los diferentes estadios de desarrollo de *H. hampei*. La hembra paraliza a las prepupas y pupas de la broca y luego oviposita. Por lo común pone un solo huevecillo por huésped pegado en la parte ventral de la prepupas o la región dorso-abdominal de las pupas. Después de la



Foto 9-4. Hembra de *Cephalonomia stephanoderis*.

eclosión, la larva inserta su aparato bucal en el cuerpo del huésped, de tal manera que durante su desarrollo, la cabeza y el protórax no son visibles. El contenido del cuerpo del huésped es enteramente consumido y hacia el fin de su desarrollo, la larva teje un capullo dentro del cual se efectúa la metamorfosis.

Las características biológicas de la especie se presentan en el cuadro 9-1.

5.3 Capacidad de control

Es muy difícil predecir el efecto de un enemigo natural como aquel de *C. stephanoderis* ya que su acción es lenta, sometida a factores ecológicos y que no se puede apreciar de otra forma que a través el grado de disminución de las poblaciones del huésped. En este sentido, uno de los primeros aspectos que se consideró importante determinar fue la mortalidad natural de la broca. Experimentos hechos en campo han mostrado que la mortalidad natural de la broca fundadora dentro del fruto, generalmente no pasa el 5% (Baker *et al.*, 1992b). Otro aspecto fue de probar el efecto de liberaciones de *C. stephanoderis* en condiciones semi-controladas es decir en jaulas colocadas en campo. Se ha mostrado que los niveles de mortalidad sobre la broca pueden llegar a casi 90% por fruto (Hulshof, 1989; Barrera, 1994). Por otro lado cabe mencionar que *C. stephanoderis* no manifiesta solamente un comportamiento parasítico (parasitando inmaduros) sino también una actividad depredadora (depredando sobre todos los estadios de desarrollo). Sin duda alguna, esta característica puede incrementar su eficacia, pero la dificultad es de medirla con exactitud.

5.4 Establecimiento del parasitoide y control biológico clásico

Cuando se introdujo *C. stephanoderis* a México, se pretendía que éste se estableciera en las regiones cafetaleras y que sus poblaciones liberadas fuesen capaces de reducir naturalmente a aquellas de la plaga a nivel que no causaran daños económicos. Este enfoque del control biológico, también llamado "control biológico clásico", es el que se busca en cualquier programa de introducción de enemigos naturales, pues los beneficios, principalmente económicos, son obvios.

Cuadro 9-1. Atributos y características biológicas del parasitoide *C. stephanoderis*.

Características	Observaciones	Referencias
Reproducción	Sexual y partenogenética arrenotoquia	Koch (1973)
Duración del ciclo biológico (de huevo a adulto a 27.9°C)	Más corto que el huésped: <i>C. stephanoderis</i> : 16 días <i>H. hampei</i> : 22 días	Barrera et al. (1989)
Requerimientos térmicos para completar el ciclo biológico	Menos que el huésped: <i>C. stephanoderis</i> : 253 días-grado <i>H. Hampei</i> : 387 días-grado	Infante et al. (1992) Costa y Villacorta (1989)
Fecundidad a los 21 días (a 27.9°C)	Mayor que el huésped: <i>C. stephanoderis</i> : 55 huevos <i>H. hampei</i> : 28 huevos	Barrera et al. (1989)
Relación de sexos	Mayor número de hembras: 1 a 7	Barrera et al. (1993)
Uso del huésped	Para parasitación y alimentación	Koch (1973); Barrera (1994)
Esperanza media de vida (26°C, alimento: miel de abeja)	Hembras: 38 días Machos: 21 días	Barrera et al. (1993)
Longevidad (26°C, alimento: miel de abeja)	Hembras: 73 días Machos: 59 días	Barrera et al. (1993)
Alimentos alternos para adultos	Miel de abeja Sustancias azucaradas de plantas	Barrera et al. (1993) A. Damon, no publicado
Competencia intraespecífica	Muy alta	Chiu (1993); Barrera (1994)
Superparasitismo	Muy baja incidencia: <1%	Barrera et al. (1989) Abraham et al. (1990)
Discriminación de huéspedes	Si discrimina	Barrera et al. (1994)
Capacidad de establecimiento	Sobresaliente	Barrera (1994)
Facilidad para cría en laboratorio	Muy fácil	Barrera (1994)
Tolerancia al insecticida endosulfan	Más tolerante que el huésped	Kern et al. (1991); Brun y Decazy (1992); Ramos (1993)
Tolerancia al hongo <i>B. bassiana</i>	Más tolerante que el huésped	De la Rosa (1993)

Las investigaciones realizadas en el sureste de Chiapas han señalado que *C. stephanoderis* se ha establecido en los cafetales, de tal manera que ahora forma parte de la fauna benéfica de la región (Barrera, 1994, 1995a, 1996b). Desde el punto de vista del concepto de establecimiento, el proyecto inicial ha sido exitoso. Sin embargo, a diez años de su introducción a territorio mexicano y no obstante los buenos niveles de mortalidad de broca registrados en zonas de liberación, todavía no es evidente que este parasitoide vaya a funcionar bajo el enfoque del control biológico clásico. Dos factores importantes limitan el desarrollo de las poblaciones de parasitoides: la mortalidad ocasionada por el efecto mecánico directo de la cosecha al retirar del cafetal los frutos parasitados y la baja disponibilidad de los estadios de desarrollo de la broca susceptibles de ser parasitados al final del período de post-cosecha y al inicio del período de fructificación (Barrera, 1994, 1995a, 1996b).

Sobre la base de estos resultados se considera que la utilización de este parasitoide bajo un enfoque de "control biológico por aumento" podría ser más promisorio, aunque también resultaría un enfoque más caro.

5.5 Tecnologías de cría de C. stephanoderis y eficacia de liberaciones sobre broca

Uno de los aspectos que ha llamado la atención al inicio, ha sido la facilidad de criar *C. stephanoderis* en laboratorio. En este sentido, la disposición de procedimientos sencillos y económicos para producir parasitoides en grandes números, es un requisito esencial para el éxito de un programa de liberaciones. De manera general se puede decir que la cría del parasitoide *C. stephanoderis* se realiza actualmente bajo dos esquemas. Uno de estos denominado "Cría Rural" y el otro "Cría Centralizada". Aunque ambos son complementarios en un programa de manejo integrado de la broca, conceptualmente presentan diferencias importantes.

5.5.1 La cría rural

Es un sistema de cría artesanal manejado por los caficultores en sus propias comunidades. Tiene características económicas y sociales que la hacen muy atractiva:

- participación directa del productor,
- reducción de insumos en el manejo del cultivo,

- empleo de mano de obra familiar y comunitaria,
- fomento del trabajo en grupo.

Generalmente esta cría no involucra la cría de la broca, sino que utiliza frutos infestados naturalmente que son colectados del cafetal. Así, en este sistema se fomenta el control de la broca tanto por la acción de los parasitoides como por la acción de retirar frutos infestados del cafetal (control manual). El costo que representa instalar una cría de este tipo ha sido estimado entre US\$17 y US\$117 (Barrera *et al.*, 1992a, b, c). Los logros del control de la broca con *C. stephanoderis* producido en el marco de crías rurales en Chiapas se pueden apreciar a través algunos ejemplos (Barrera, 1995a, 1996b):

- En la finca San Miguel, donde se estuvo criando y liberando a este parasitoide durante más de 3 años consecutivos, un muestreo de la broca realizado en junio de 1995 mostró una infestación de 0.4% en un área de 4 ha, comparado con 2.1% obtenido en una superficie similar de la Finca colindante Albión; la diferencia entre ambas infestaciones fue más de 5 veces.
- En la finca Holanda donde también se tiene una cría rural desde 3 años atrás y cuya producción anual de parasitoides es verdaderamente alta (alrededor de 1 millón de parasitoides al año), la infestación en octubre de 1995 fue de 1.35%, en comparación a 6.1% en un cafetal colindante de la Colonia Libertad (Piedra canoa); en este caso la infestación fue de 4.5 veces mayor donde no se han liberado parasitoides.
- En otro lugar, 17 pequeños productores de la asociación ISMAM de los Ejidos Nuevos Ixtepec y F. I. Madero, produjeron más de 133 000 parasitoides en cría rural, los cuales se liberaron entre 1992 y 1994. El resultado se tradujo por una disminución de la cantidad de granos de café "oro" dañados de 50 a 29%.

5.5.2 La cría centralizada

La cría centralizada es un sistema donde un grupo de técnicos realiza una cría más tecnificada del parasitoide (Barrera, 1995b). En México, esta forma de cría se lleva a cabo en laboratorios denominados "Laboratorios tipo". La cría centralizada, comparativamente con la cría rural, es un sistema que permite producir más parasitoides. Se utilizan frutos infestados del campo, pero también café pergamino (con 35% de humedad). En el caso del laboratorio de ECOSUR en Tapachula, donde la cría del parasitoide se realiza con café del campo infestado naturalmente por *H. hampei*,

se tiene la capacidad máxima de producir unos 300 000 ejemplares por mes. El costo estimado de 1000 parasitoides adultos en este laboratorio es de US\$5.2. En otros países donde se realiza la cría del huésped en café pergamino, se tienen producciones mayores, por ejemplo los 6 laboratorios de PROCAFE de El Salvador, produjeron entre todos en 1996, un promedio mensual de más de 1 millón de parasitoides (PROCAFE, 1997a), mientras que la producción del laboratorio de CENICAFE de Colombia fue de 5 millones al mes (Baker, comunicación personal).

El uso de *C. stephanoderis* en liberaciones masivas se ha estado experimentado en El Salvador, Colombia y México. El término "masivo" no siempre tiene el mismo significado para todos los que lo emplean; aquí, se deberá entender como "liberación masiva" aquella que se utiliza como "insecticida biológico", es decir que se espera un control de la broca más rápido (mínimo de un ciclo de cultivo al siguiente) y efectivo (>50%, al menos como el caso del hongo *B. bassiana*). Se ha visto que el mejor momento de hacer liberaciones es el período de post-cosecha ya que la población de la broca es menor, aspecto que favorece la relación broca/parasitoide. Con una estrategia de liberaciones masivas durante el período de post-cosecha, se estaría eliminando a la población de brocas causante de daños en el siguiente ciclo de cultivo. Algunos resultados de liberación masiva ya están disponibles:

- en la finca Alianza (Chiapas), las liberaciones de 35 000 a 40 000 parasitoides por hectárea durante el período de post-cosecha, contribuyeron a reducir las infestaciones de broca con una eficacia de 22 a 56% (Barrera, 1994, 1996a).
- en las fincas Santa Adelaida y El Espino (El Salvador), las liberaciones de tipo "proporcional" de 1 parasitoide por 1, 4 y 7 frutos residuales de post-cosecha albergando estadios vivos de broca, permitieron bajar las infestaciones de broca sobre la nueva fructificación, respectivamente de 64, 46 y 32% con respecto a testigos sin control (Dufour, en preparación). Este trabajo se realizó en parcelas de 3000 m², con niveles de infestación iniciales (planta y suelo) variando de 8200 a 134 000 frutos con broca viva.

De acuerdo con estos resultados, se puede considerar que 50 000 parasitoides por hectárea es un número aceptable para hacer liberaciones realmente masivas y también que esta cantidad se puede modular en función del nivel de infestación de broca inicial.

Sin embargo, cabe mencionar que el parasitismo no es homogéneo en el cafetal: siempre es mayor en los frutos de la planta que aquellos del suelo (Dufour, no publicado; Ramírez, 1993; Reyes *et al.*, 1996). La eficacia

del control de *C. stephanoderis* tiene entonces sus límites. ¿Quizás un mejor conocimiento del comportamiento del parasitoide podría contribuir a mejorar la forma de liberar y aumentar el nivel de parasitismo? Por otro lado, la "autoliberación" que consiste en colocar directamente en el campo elementos de crías de parasitoides, podría ser una alternativa inmediata más eficaz que la liberación de adultos tal como se practica actualmente en América Central y México. ¿Cuáles son las principales ventajas para los parasitoides? menos estrés a la emergencia y menos competencia intraespecífica ya que la liberación es gradual en el tiempo.

*5.5.3 Integración de *B. bassiana**

La integración del parasitoide *C. stephanoderis* con el hongo entomopatógeno *B. bassiana* es biológicamente factible (De la Rosa, comunicación personal). Primero porque cada uno de estos agentes de control biológico actúa sobre la broca en situaciones diferentes. Por ejemplo, *B. bassiana* ataca a la broca cuando ya está en el interior del fruto. Segundo, porque se ha encontrado que *C. stephanoderis* presenta cierta tolerancia hacia el hongo (De la Rosa, 1993). Uno de los aspectos que se deben investigar es el relacionado con los costos que representan integrar estos organismos.

5.6 Tecnología de cría masiva: un reto para la investigación

Una limitante común para la cría rural y la cría centralizada sigue siendo la baja producción de parasitoides, sobre todo si la intención es lograr un impacto significativo de *C. stephanoderis* sobre la infestación de la broca a una escala regional y en el corto plazo. Sencillamente, con las producciones de parasitoides antes mencionadas, será muy difícil lograrlo. Por lo tanto, si se desea emplear liberaciones masivas para el control de la broca, se debe pensar en desarrollar la tecnología de cría masiva. El concepto de cría masiva tiene dos fundamentos. El primero se refiere a que *una liberación masiva no debería ser más cara que la aplicación de un insecticida químico convencional*, cuyo costo anda en alrededor de US\$10 por hectárea (cuadro 9-2). El mejor camino para lograrlo es desarrollar una tecnología de cría que permita producir parasitoides de calidad a bajos costos. Como segundo fundamento, hay que considerar que la tecnología de cría masiva debe ser capaz de producir al menos 50 millones de

parasitoides por semana. Eso permitiría atender unas 16 000 hectáreas de café durante el período post-cosecha (de enero a abril) a razón de 50 000 parasitoides por hectárea.

Para superar los niveles actuales de producción de parasitoides, hay que contemplar el desarrollo de una tecnología de cría de *C. stephanoderis* bajo un concepto de "producción industrial". En este sentido, son dos los ingredientes necesarios: sustituir la cría de la broca en café pergamino por un sustrato o dieta artificial y automatizar-mecanizar el proceso de cría (Barrera, 1995a, 1996b).

Desde el desarrollo de la primera dieta artificial para *H. hampei* (Villacorta, 1985), seguida por una simplificación de la misma (Villacorta

Cuadro 9-2. Estimaciones de costos de diferentes productos biológicos contra la broca del café y su comparación con un insecticida químico (Barrera, 1995a, 1996b).

Producto biológico	Dosis/ha	Costo unitario (US\$)	Costo/ha (US\$)
Thiodan ® 35% CE (endosulfan)	1 l	10.00	10.00
Conidia ® (<i>B. bassiana</i>)	1 l	10.00 ¹	10.00
<i>B. bassiana</i> (México)	3 bolsas ²	2.083	6.25
Parasitoide de Colombia	50,000 ³	0.005	250.0
Parasitoide de El Salvador	50,000	0.00828 ⁴	414.0
Parasitoide de México	50,000	0.0052	260.0
Parasitoide de dieta actual ⁵	50,000	0.0033	165.0
Parasitoide de dieta potencial ⁶	50,000	0.0004	20.0

1 Dato no oficial.

2 Producido por la Junta Local de Sanidad Vegetal de Tapachula, Chiapas. Cada bolsa pesa 200 g (*B. bassiana* + partículas de arroz).

3 Dato estimado por Barrera (1994).

4 Reyes et al. (1996).

5 Parasitoide criado en broca obtenida de dieta artificial (Villacorta y Barrera, 1996).

6 Obteniendo 275 pupas de broca por tubo en 30 días.

y Barrera, 1993), se redujeron los costos de producción y fue posible tener una dieta más comercial denominada "Ecobrovill-160" (Villacorta y Barrera, 1996) que hiciera factible la cría masiva de la broca y consecuentemente, la cría masiva de *C. stephanoderis*. No obstante estos avances, todavía esta dieta es cara. Algunas estimaciones indican que una dieta más productiva, podría tener el potencial de bajar el costo de producción de 50 000 parasitoides a US\$20. Por medio del mecanizado y automatizando el sistema de cría, sería posible reducir aún más este costo (Villacorta y Barrera, 1996). Al respecto, se está considerando tomar la experiencia de otros proyectos de cría masiva de insectos así como involucrar el apoyo de ingenieros industriales.

Se está considerando también la realización de investigaciones tendientes a desarrollar dietas artificiales para el parasitoide. Los resultados obtenidos con otros parasitoides como el ectoparasitoide *Catolaccus grandis* (Burks) (Guerra y Martínez, 1994), permiten confiar que igualmente podría ser factible criar *C. stephanoderis* in vitro.

5.7 Transferencia de tecnología y control biológico de *H. hampei*

No cabe duda que en los últimos 15 años se ha generado mucha información sobre control biológico de la broca, tanto en México como en otros países. En el caso particular de *C. stephanoderis*, se encuentran disponibles procedimientos de uso (Barrera, 1995b; Barrera *et al.* 1992c) y folletos de divulgación como historietas (Barrera *et al.*, 1996), y periódicamente se promueven e imparten cursos de capacitación a productores y técnicos por diversas instituciones académicas y Juntas Locales de Sanidad Vegetal, entre otras. Incluso, la Norma Oficial Mexicana que establece la campaña contra la broca del café (SAGAR, 1995), describe las actividades relacionadas con el uso de este parasitoide. Así, desde el punto de vista de la infiltración que ha tenido esta tecnología en el sector cafetalero, se puede considerar todo un éxito.

Sin embargo, solo una minoría de productores ha adoptado la cría rural del parasitoide como estrategia de combate contra la broca. Entre estos caficultores, se encuentran principalmente productores de café orgánico, ya sea de organizaciones campesinas o propietarios de fincas, que por lo general se caracterizan por ser muy innovadores, estar muy organizados, más sensibilizados hacia la conservación de los recursos naturales. El

grueso de los caficultores, más bien acostumbrados a los esquemas gubernamentales de apoyo a la producción, ha encontrado a la cría rural como muy laboriosa generando resultados poco espectaculares. Obviamente, en esto está implícita la percepción que muchos caficultores y técnicos tienen del control de las plagas, donde la solución está dada por la aplicación de "líquidos" o "polvos" de acción insecticida inmediata a través de bombas manuales o motorizadas. En esta perspectiva de ver las cosas, el control biológico es muchas veces mal interpretado.

Bibliografía

- Abraham, Y.J.; Moore, D.; Godwin, G. 1990. Rearing and aspects of biology of *Cephalonomia stephanoderis* and *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyilidae) parasitoids of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bull. Ent. Res. 80: 121-128.
- Arcila, A.; Cárdenas, R.; Vélez, C.C.; Bustillo, A.E. 1997. Registro de un nuevo hospedero de la avispa de Costa de Marfil *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyilidae). In XXIV Congreso, 16-18 de julio, Pereira, Colombia.
- Arias, E. 1979. La broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei*). Informe. Secretaría de Recursos Naturales, Tegucigalpa, Honduras. 43 p.
- Baker, P. 1984. Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (Coleoptera, Scolytidae). Folia Entomol. Mex., 61: 9-24.
- _____. 1986. Biología, ecología, hábitos de la broca. In Memoria , II curso regional sobre MIP del cafeto con énfasis en broca del fruto (*Hypothenemus hampei* Ferr.). IICA/PROMECAFE-AID/ROCAP, San Pedro Sula, Honduras. p. 119-147.
- Baker, P.S.; Ley, C.; Balbuena, R.; Barrera, J.F. 1992a. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries. Bull. of Ent. Res. 82: 145-150.
- _____.; Barrera, J.F.; Rivas, A. 1992. Life history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. J. Appl. Ecol., 29: 656-662.
- _____.; Barrera, J.F.; Valenzuela, J.E. 1989. The distribution of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Southern Mexico: a survey for a biological project. Tropical Pest Managment 35: 163-168.
- Balachowsky, A. 1949. Coléoptères scolytidae. Faune de France 50. París.
- Barrera, J.F. 1994. Dynamique des populations du scolyte des fruits du caféier, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) et lutte biologique avec le parasitoïde *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae), au Chiapas, Mexique. Memoria. Tesis de doctorado. Universidad Paul Sabatier, Toulouse, Francia. 301 p.

- Barrera, J.F. 1995a. Los agentes de control biológico de la broca del café en México. In Memoria del VI Curso Nacional de Control Biológico, SMCB. 6-8 de nov., 1995. Ed. De la Rosa, Tapachula, Chiapas, México. p. 172-183.
- _____. 1995b. Metodología para la Cría de *Cephalonomia stephanoderis*, parasitoide de la Broca del Café, en frutos de café infestados naturalmente. In Memoria del VI Curso Nacional de Control Biológico, SMCB. 6-8 de nov., 1995. Ed. de la Rosa, Tapachula, Chiapas. p. 162-165.
- _____. 1996a. Control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) mediante liberaciones masivas del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae). In 19 Congreso Nacional de Control Biológico. 14-15 nov., 1996. Centro de Ciencias de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México. p. 168-170.
- _____. 1996b. Potencialidad del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* para ser usado en liberaciones inundativas contra la broca del café *Hypothenemus hampei*. In Memorias del 17 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana. 23-27 oct., 1995. San Salvador, El Salvador, Ed.IICA/PROMECAFE, Tegucigalpa, Honduras, 2: 265-277.
- _____.; Baker, P.S.; Schwarz, A.; Valenzuela J.E., 1990a. Introducción de dos especies de parasitoides africanos a México para el control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Folia Entomol. Mex., 79: 245-247.
- _____.; Gómez, J.; Alauzet, C. 1994. Evidence for a marking pheromone in host discrimination by *Cephalonomia stephanoderis* (Hym.: Bethyridae). Entomophaga 39: 363-366.
- _____.; Gómez, J.; Infante, F.; Castillo, A.; De la Rosa, W. 1989. Biologie de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae) en laboratoire. 1. Cycle biologique, capacité d'oviposition et émergence du fruit du caféier. Café Cacao Thé 33: 101-108.
- _____.; Infante, F.; Alauzet, C.; Gómez, J. De la Rosa W., Castillo A., 1993. Biologie de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae) en laboratoire. 2. Durée de développement, sex-ratio, longévité et espérance de vie des adultes. Café Cacao Thé 37: 205-214.
- _____.; Infante, F.; Castillo, A. 1996. Control biológico para cafeticultores. La historieta como medio de difusión de la Ciencia y la Tecnología. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). 36 p.
- _____.; Infante, F.; Castillo, A.; Gómez, J.; De la Rosa, W. 1992a. Descripción de la cría rural de parasitoides para el control biológico de la broca del café y análisis de su adopción y transferencia. In 15 Simposio Latinoamericano de Caficultura. SARH-INMECAFE-IICA/PROMECAFE. 21-24 julio, 1992. Xalapa, Veracruz, México. p. 296-302.
- _____.; Infante, F.; Gómez, J.; Castillo, A. 1992b. Control biológico de la broca del café. In 13 Reunión Nacional de Control Biológico. Colima, Colima, México. p. 1-9.

- Barrera, J.F.; Infante, F.; Gómez, J.; Castillo, A.; De la Rosa, W. 1992c. Guía Práctica: Cría y manejo de parasitoides para el control biológico de la broca del café en comunidades rurales. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, Unidad Tapachula., 31 p.
- _____.; Infante, F.; Vega, M.I.; Gonzales, O.; Carrillo, E.; Campos, O.; Muñoz, R.; Serrano, A.; Osorto, J.J.; Decazy, B.; Moore, D. 1990b. Introducción de *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae) a Centroamérica para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Turrialba 40: 570-574.
- _____.; More, D.; Abraham, Y.J.; Murphy, S.T.; Prior, C. 1990c. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Mexico and possibilities for further action. In Proceedings of the Brighton Crop. Prot. Conf. - Pests and Diseases 4: 391-396.
- Barrios, M.; Centeno, F. 1994. Eficacia de *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferr. en la VI región de Nicaragua. In Memoria 15 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana, Panamá, 20-24 mayo 91. Ed. IICA/PROMECAFE, Tegucigalpa, Honduras. p. 261-278.
- Beille, L. 1925. Le Stephanoderes sur les Caféiers cultivés à la Côte d'Ivoire. Rev. de Bot. appliquée et d'Agr. Col. 5: 387-388.
- Bergamin, J. 1943. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca do café "*Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867)" (Col. Ipinae). Arq. Instit. Biol. 14: 31-72.
- Borbón-Martínez, O. 1989. Bioécologie d'un ravageur des baies de caféier, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: scolytidae) et de ses parasitoïdes au Togo. Tesis de doctorado. Universidad Paul Sabatier, Toulouse, Francia. 185 p.
- Brun, L.A.; Decazy, B. 1992. Etude de la toxicité de l'endosulfan sur l'entomofaune parasitaire du scolyte des fruits de caféier, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae). Café Cacao Thé 36: 121-128.
- Brun, L.O.; Marcillaud, C.; Gaudichon, V.; Suckling, D.M. 1989. Endosulfan resistance in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. J. Econ. Entomol. 82 (5): 1311-1316.
- _____.; Marcillaud, C.; Gaudichon, V.; Suckling, D.M. 1990. Monitoring of endosulfan and lindane resistance in the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. Bul. Ent. Res. 80: 129-135.
- _____.; Suckling, D.M. 1992. Field selection for endosulfan resistance in coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. J. Econ. Entomol. 85 (2): 325-334.
- Campos, O.; Dufour, B. 1995. Informe de misión a República Dominicana sobre presencia de la broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.). IICA/PROMECAFE, Guatemala, 11 p.
- Cárdenas R., 1994. Apuntes y observaciones sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) (Coleoptera: scolytidae). In Memoria 14 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana, Panamá, 20-24 mayo 91. Ed. IICA/PROMECAFE, Tegucigalpa, Honduras. p. 155-162.

- Chiu, M. del P. 1993. Competencia intraespecífica en *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae), parasitoide de la broca del café (Coleoptera: Scolytidae). Memoria de tesis de licenciatura. Escuela de Biología, Inst. de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 108 p.
- Corbett, G.H. 1933. Some preliminary observations on the coffee berry borer, *Stephanoderis (Cryphalus) hampei* Ferr. Malayan Agri. Journal 21:8-22.
- Costa, T.C.S.; Villacorta, A. 1989. Modelo acumulativo para *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) (Coleoptera: Scolytidae) com base em suas exigências térmicas. An. Soc. Ent. (Brasil) 18 (supl.): 91-99.
- Da Costa Lima, A. 1924. Sôbre a broca do café (*Stephanoderes coffeae* Hag.). Ch. e Quintais, Sao Paulo 30:111-114.
- Decazy, B. 1989. Le scolyte du fruit du caféier, *Hypothenemus hampei* Ferr.: considérations sur la lutte intégrée contre ce ravageur. In Annales XII Colloque Scientifique International sur le café, aipa, Colombia, Ed. ASIC. p. 655-665.
- _____; García, A.; de la Rosa, W.; Muñoz, R.; Vega, M. 1995. Lutte biologique contre le scolyte des fruits du caféier, *Hypothenemus hampei* Ferr., grâce à l'utilisation des parasitoïdes d'origine africaine. Rapport Final, Projet UE, Contrat n°TS2A - 0234 M (CD), Ed. CIRAD, Montpellier, Francia. 15 p. y anexos.
- De la Rosa, W. 1993. Manejo del hongo entomopatogéno *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. y su efecto sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) y su parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* Betrem. Tesis de Maestría, Univer. Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 100 p.
- Delvare, G.; Aberlenc, H.P. 1989. Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles. Ed. CIRAD-GERDAT, Montpellier, Francia. 302 p.
- Dufour, B.; Decazy, B. 1997. Mise en place d'une lutte intégrée contre le scolyte des fruits du caféier en Amérique Centrale. In Annales de la 4 Conférence Internationale sur les Ravageurs en griculture, 6-8 janvier 97. Montpellier, Francia, Ed. ANPP. 3: 601-606.
- Eichhoff, W. 1871. Neve exotische Tomciden-Arten. Bert. Entom. Zeitshr. 15: 131-136.
- Giordanengo, P. 1992. Biologie, éco-éthologie et dynamique des populations du Scolyte des grains de café, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera, Scolytidae), en Nouvelle Calédonie. Memoria. Tesis de Doctorado. Univers. Rennes I. 109 p.
- _____; Brun, L.; Frerot, B. 1993. Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, by coffee berries. J. of Chem. Ecology 19, 4: 763-769.
- Guerra, A.A.; Martínez, S. 1994. An in vitro rearing system for the propagation of the ectoparasitoid *Catolaccus grandis*. Entomol. Exp. Appl., 72: 11-16.
- Guharay, F.; Amílcar, R.; Mendoza, R.; Monterrey, J. 1998. Implementación del manejo integrado de la broca del café con caficultores. In 2 Reunión Intercontinental sobre Broca del Café. Ed. Barrera, J.F., Guerra, A.A., Menn, J.J., Baker, P.S. Tapachula, Chiapas, México. 39 p.

- Guzmán, R.; Castillo, M.; López, L. 1997. Fluctuación poblacional de la broca del grano del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) en dos zonas cafetaleras de la República Dominicana. In memoria XVIII Simposio sobre Caficultura Latinoamericana. Costa Rica, 16-19 sept. de 1997. Ed. IICA/PROMECAFE. Tegucigalpa, Honduras. p. 303-316.
- Hagedorn, M. 1910. Wieder ein neuer Kaffeeschädling. Entom. Blätter, Berlín, Alemania. 6: 1-4.
- Hargreaves, H. 1926. Notes on the coffee berry borer (*Stephanoderes hampei*, Ferr.) in Uganda. Bull. ent. Res. 16: 347-354.
- Hempel, A. 1934. A *prorops nasuta* Waterston no Brasil. Arch. Inst. Biológico (Sao Paulo) 5: 197-212.
- Hernández-Paz, M.; Sánchez-de-León, A. 1972. La broca del fruto del café. Asociación Nacional del Café, Guatemala 11: 1-72.
- _____; Sánchez-de-León, A. 1978a. La broca del fruto del café I. Rev. Cafetal 174:11-26.
- _____; Sánchez-de-León A., 1978b. La broca del fruto del café I. Rev. Cafetal 175: 9-28.
- Hulshof, M. 1989. *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyilidae), parasitoid of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Field trials on life cycle and parasitism. Report of field experiments. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, Tapachula, Chiapas, México. 42 p.
- Infante, F.; Barrera, J.F.; Gómez, J.; Castillo, A.; De la Rosa, W. 1993. Reproducción sexual y parthenogenética de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem en laboratorio. Turrialba 42: 391-396.
- _____; Luis, J.H. 1993. Estadísticos demográficos de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyilidae) a temperaturas constantes. Folia Entomol. (Mexico) 87: 61-72.
- _____; Luis, J.H.; Barrera, J.F.; Gómez, J.; Castillo, A. 1992. Thermal constants for preimaginal development of the parasitoid *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae). Can Ent. 124: 935-941.
- _____; Valdez, J.; Penagos, D.I.; Barrera, J.F. 1994. Description of the life stages of *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) a parasitoid of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Vedia 1: 13-18.
- Johannesson, N.R.; Mansingh, A. 1984. Host pest relationship of the genus *Hypothenemus* (Scolytidae: coleoptera) with special reference to the coffee berry borer *H. hampei*. J. of Coffee Res. 14: 43-56.
- Kern, M.J.; Geiss, J.; Knauf, W.; Sachse, B. 1991. Suitability of endosulfan for integrated pest management (IPM) in coffee. In 1 Reunión Intercontinental sobre la Broca del Café. Ed. Barrera, J.F.; Castillo, A.; Gómez, J.; Malo, E.; Infante, F. CIES, PROMECAFE, URPCT, SME, IRCC. Tapachula, Chiapas, México. 17-22 nov., 1991. p. 54-55.
- Klein-Koch, C. 1986. La broca del café (*Hypothenemus hampei*). Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, Ecuador. 45 p.

- Klein-Koch, C.; Espinoza, O.; Tandazo, A.; Cisneros, P.; Delgado, D. 1988. Factores naturales de regulación y control biológico de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) Sanidad Vegetal 3: 5-30.
- Koch, V.J.M. 1973. Abondance d'*Hypothenemus hampei* Ferr., scolyte des graines de café, en fonction de sa plante-hôte et de son parasitoïde *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, en Côte d'Ivoire. Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen. 16: 84 p.
- Le Pelley, R.H. 1968. Pests of coffee. Ed. Longmans, Green and Co, Londres, Reino Unido. 590 p.
- Leplay, E. 1928. Le scolyte des baies du caféier (*Stephanoderes*). Bull. Agric. (Congo Belga) 19: 271-276.
- López, A. 1993. Contribution à la biologie du scolyte du café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera, Scolytidae). Mémoire, DEA, Univers. Paris XIII. 25 p.
- _____; Frerot, B. 1993. Statut physiologique des femelles colonisatrices de *Hypothenemus hampei* (Ferr.). In Annales XV Colloque International sur le café. Montpellier, 6-11 junio de 1993. ASIC, Paris, Francia. 2: 831-832.
- Mathieu, F. 1995. Mécanismes de la colonisation de l'hôte chez le scolyte du café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae). Memoria, Tesis de Doctorado. Univers. Paris VII. 133 p. y anexos.
- Mendoza Mora, J.R. 1991. Reposta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estímulos visuais e semioquímicos. Magister Scientiae, Universidade Federal de Viscosa, Brasil.
- Mbondji, M. 1974. Etat actuel de nos connaissances sur la bionomie du *Stephanoderes hampei* Ferr. (Coleoptera, Scolytidae). Ann. Fac. Sci. (Camerún) 17: 95-103.
- Mc Pherson, G.I. 1978. Report of the presence of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Jamaica. In Simposio sobre caficultura, Robeirão Preto, São Paulo, Brasil, IICA/PROMECAFE. p. 15-24.
- Moore, D.; Abraham, Y.N.; Mills, N.J. 1990. Effects of competition in the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae). J. Appl. Ent. 109: 64-70.
- _____; Prior, C. 1988. Present status of biological control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. In Proceedings of the Brighton Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases, 9: 1119-1124.
- Morallo-Rejesus, B.; Baldos, E. 1980. The biology of coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Scolytidae, coleoptera) and its incidence in the southern Tagalog Provinces. Philip. Entomol. 4: 303-316.
- Morstatt, H. 1914. Kaffeekultur, Kaffeeschädlinge und andere schädliche Insekten im Bezirk Bukoba. Der Planzer 10: 133-141.
- Muñoz, R. 1990. Ciclo biológico y reproducción partenogénica de la broca del fruto del cafeto. Turrialba 39: 415-421.
- Murphy, S.T.; Moore, D. 1990. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. Biocontrol News and Information 11: 107-117.

- Murphy, S.T.; Moore, D.; Rangi, D.K. 1991. The use of the african wasp, *Prorops nasuta* for the control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* in México and Ecuador: the introducción programme. *Insect Sci. Applic.* 12: 27-34.
- Oliveira Filho (de), M.L. 1927. Contribução para o conhecimento da broca do café, *Stephanoderes hampei* (Ferr. 1867) modo de comportarse e ser combatida em Sao Paulo, Brasil. Comissao do Estudo e Debellaçao da Praga Caffeira. Sao Paulo, Brasil. 20: 95p.
- Penados, H.D.; Flores, J.C. 1974. Hábito y tiempo de penetración de la broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferr., al fruto. *Rev. Cafet. (ANACAFE)* 137: 5-15.
- PROCAFE. 1997a. Informe anual de actividades del proyecto de control biológico de la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* a través del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis*, durante 1996. Publicación Interna. 15 p y anexos.
- _____. 1997b. Manual del caficultor salvadoreño. PROCAFE, San Salvador, El Salvador. 164 p.
- Ramírez, J.M. 1992. Parasitismo de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyilidae), sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) en una finca cafetalera del Socunusco, Chiapas, México. 126 p.
- Ramos, J.M. 1993. Susceptibilidad del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) y su huésped la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), a diferentes plaguicidas en laboratorio. Tesis de Licenciatura en Ciencias Químicas, UNACH, Tapachula, Chiapas, México. 103 p.
- Reid, J.C. 1983. Distribution of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) within Jamaica, following its discovery in 1978. *Trop. Pest Management* 29: 224-230.
- Remond, F. 1996. Mise au point de méthodes d'échantillonnage pour estimer les attaques des fruits du caféier par le scolyte (*Hypothenemus hampei* Ferr.). Memoria, Tesis de Doctorado, USTL II, Montpellier, Francia. 279 p. y anexos.
- Reyes, R.; Vega, M.I.; Oviedo, J.A.; De León, R.A. 1996. Proyecto control biológico de la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* Ferr. en El Salvador. In Memoria XVII Simposio sobre Caficultura Latinoamericana, San Salvador, 23-27 oct. 1995. Ed. IICA/PROMECAFE, Tegucigalpa, Honduras. 2: 101-124.
- Rudinsky, J.A. 1962. Ecology of Scolytidae. *Ann. Rev. Entomol.* 7: 327-348.
- SAGAR. 1995. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-002-FITO-1995, por la que se establece la campaña contra la Broca del Café. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 22 agosto, 1995. Diario Oficial (Primera sección). p. 5-15.
- Sladden, G.E. 1934. Le *Stephanoderes hampei* Ferr. *Bull. Agric. (Congo Belga)* 25: 26-77.
- Ticheler, J.H.G. 1961. Etude analytique de l'épidémiologie du scolyte des graines café, *Stephanoderes hampei* Ferr. en Côte d'Ivoire. *Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen.* 61:1-49.
- Toledo, A.A. de. 1947. Importância econômica da broca do café "*Hypothenemus hampei* (Ferr.)" no estado de S. Paulo. *Arq. Instit. Biol.* 18: 213-238.
- Tothill, J.D. (ed). 1940. Agriculture in Uganda. London, Oxford U.P. 551 p.
- Van der Weele, H.W. 1910. Ein neuer javanischer Kaffeeschädling *Xyleborus coffeivorus* nov. esp. *Bull. Dept. de l'Agric. aux Indes Néerl. Buitenzorg* 35: 1-6.

- Vega, M.I.; Romero, C.E. 1985. Combate de la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei*, Ferrari) en El Salvador. In Memoria curso sobre MIP del cafeto con énfasis en broca del fruto. IICA/PROMECAFE, AID-ROCAP, Guatemala. p. 178-179.
- Villacorta, A. 1985. Dieta merídica para criação de sucessivas gerações de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae). An. Soc. Entomol. (Brasil) 14: 315-319.
- _____.; Barrera, J.F. 1993. Nova dieta merídica para criação de *Hypothenemus hampei* (Ferrari)(Coleoptera: Scolytidae). An. Soc. Entomol. (Brasil) 22: 405-409.
- _____.; Barrera, J.F. 1996. Techniques for mass rearing of the parasitoid *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) on *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) using an artificial diet. Vedalia 3: 45-48.
- Waterhouse, D.F.; Norris, K.R. 1989. *Hypothenemus hampei* (Ferrari). In Biological Control Pacific Prospects - supplement 1. Austr. Centre for Inter. Agr. Res., Camberra, Australia. p. 56-75.
- Westwood, J.O. 1836. Description of a minute coleopterous insect forming the type of new subgenus allied to *Tomicus*, with some observations upon the affinities of the Xylophaga. Trans. Ent. Soc. London (1834) 1: 34-36.

CAPÍTULO 10

LOS NEMATODOS PARÁSITOS DEL CAFETO

*Luc Villain**, CIRAD-CP/IICA-PROMECAFE-ANACAFE
Francisco Anzueto, ANACAFE (Guatemala)
Adán Hernández, PROCAFE (El Salvador)
Jean Louis Sarah, CIRAD-CP

1 *Reseña Histórica e Importancia Económica*

Los nematodos parásitos de las raíces de los cafetos son responsables de daños muy importantes en toda América Latina (Campos *et al.*, 1990). Alvarado, desde 1935, menciona en su tratado de caficultura, observaciones de cafetos parasitados por nematodos en América Central. Este autor hace alusión a síntomas observados en Guatemala que parecen similares a los observados actualmente en los ataques de poblaciones emparentadas con *Meloidogyne incognita*. Debido al carácter insidioso de los ataques, este problema no fue entonces tomado en consideración sino después de los años 60 en esta región (Schieber y Sosa, 1960; Abrego y Holdemann, 1961; Salas y Echandi, 1961) y verdaderamente estudiado sólo a partir de los años 80. Su hábitat telúrico y su tamaño submicroscópico hacen en efecto que los nematodos no sean visibles por observación directa. Además, la ausencia de sintomatología aérea característica hace que los agricultores y muchos agrónomos evoquen en prioridad problemas edáficos (déficit hídrico, carencias o toxicidades minerales, acidez del suelo, etc.). Incluso a nivel de las raíces, el reconocimiento de los síntomas no es siempre

* CIRAD, BP 5035. 34032 Montpellier cedex 1. Francia. Fax: (33) 467 61 71 20. Correo electrónico: villain@cirad.fr

Nota: Las palabras después de las cuales aparece un asterisco (*) se definen en el glosario al final del capítulo.

evidente. Sobre todo, los ataques debidos al género *Pratylenchus* (nematodo lesionado) se traducen en una necrosis atípica del parénquima cortical. Los síntomas ligados a los ataques del género *Meloidogyne* (nematodos agallador), son más típicos debido a las agallas que resultan de este parasitismo. Esto explica en parte que se le atribuya a este último género la mayoría de los problemas.

Los daños causados en las raíces implican disfunciones de la nutrición hídrica y mineral de la planta que se traducen en una disminución del crecimiento y un amarillamiento progresivo del follaje que puede evolucionar en un marchitamiento de manera mas o menos rápida según las condiciones. Estos daños no se manifiestan sino progresivamente en el tiempo y aparecen a menudo en las parcelas como focos más o menos difundidos (fotos 10-1 y 10-2). En América Central, *Coffea arabica* es cultivado con frecuencia en vertientes, lo que hace que los síntomas aéreos se extienden generalmente siguiendo la dirección de las pendientes. Cuando los síntomas comienzan a manifestarse a nivel aéreo, es demasiado tarde para emprender los tratamientos curativos, ya que el sistema radical ya está muy dañado.

En la mayoría de las regiones de América Central, la caficultura se instauró desde finales del siglo pasado, sin que haya habido rotaciones de cultivos hasta la fecha. Este monocultivo perenne ha podido entonces favorecer a largo plazo el desarrollo de poblaciones de nematodos bien adaptadas al café. La intensificación del cultivo del café ha contribuido también a amplificar la problemática de los nematodos. La disminución o supresión de los árboles de sombra por ejemplo, ha permitido un aumento de la productividad de las plantaciones, pero ha ocasionado también que los cafetos sean menos tolerantes a las agresiones climáticas y parasitarias, como en particular los ataques por nematodos. Además, el aporte importante de mulch que procuran estos árboles de sombra, a pesar de que su impacto no ha sido evaluado, puede actuar en dos niveles: 1) un aumento de la tolerancia a los nematodos al mejorar la fertilidad de los suelos y 2) el desarrollo de una microfauna y flora antagonistas de los nematodos fitoparásitos (capítulo 4). El impacto de los nematodos es también más severo en las nuevas variedades de porte bajo más productivas pero más exigentes en el plano nutricional. La acidificación de los suelos por el aumento de aportes nitrogenados, al reducir la disponibilidad para la planta de los elementos nutritivos contenidos en el suelo, ha contribuido también a agravar el impacto de estos parásitos en los cafetos.

Debido al trabajo extenso que representan los muestreos de nematodos y la dificultad de evaluación de los daños, es difícil cuantificar la importancia



Foto 10-1. Foco de infestación de *Meloidogyne incognita* (Guatemala): etapa final de la sintomatología con mortandad importante de plantas (L.Villain).



Foto 10-2. Focos de infestación de nematodos en una plantación de *C. arabica* (Guatemala) (L.Villain).

actual del problema. En América Central, es admitido que los daños provocados por los nematodos del género *Meloidogyne* en el cultivo del café tienen una gran importancia económica tanto en el semillero como en el campo (Bertrand *et al.*, 1995). Sasser (1979) estima estas pérdidas en aproximadamente 10% de la producción en toda América Central. Según una encuesta realizada en Guatemala por la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) en una región importante para la producción de café, y que es también una de las zonas fuertemente infestadas por los nematodos, se estimó que estos parásitos son responsables en promedio de una caída del 20% de la producción (Alvarado, 1997). Un estudio destinado a evaluar la práctica del injerto en *Coffea canephora* no seleccionado en Guatemala, para controlar *Pratylenchus sp.*, mostró la incidencia que puede tener este nematodo en la caficultura arábica (Villain *et al.*, 1996). En ausencia de tratamientos nematocidas, se observa una fuerte tasa de mortalidad de las plantas que no son injertadas, desde que entran en la fase de producción y que alcanza 40% de la plantación después de 4 años de producción. La producción de las parcelas de cafetos sin injerto está además fuertemente correlacionada con los niveles de población* de nematodos (figura 10-1). Paralelamente, la productividad de los cafetos arábica injertados en *C. canephora* es 4 veces superior en promedio con respecto a las plantas que no son injertadas.

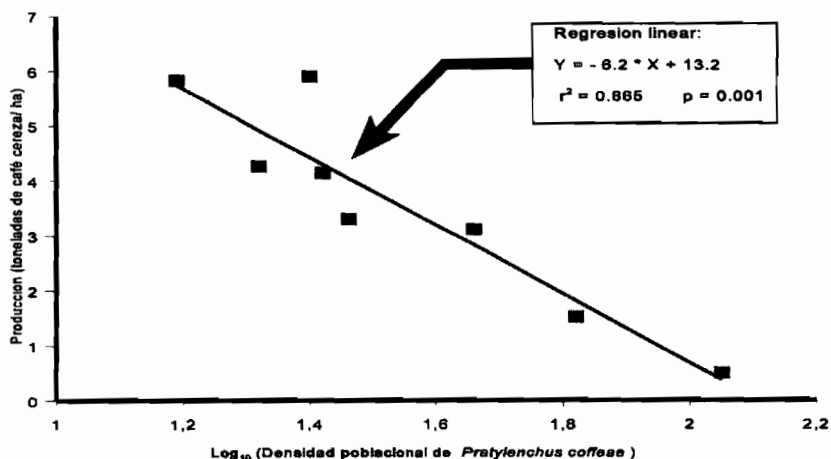


Figura 10-1. Relación de café cereza de 1995 y el promedio de densidad poblacional transformado en \log_{10} de *Pratylenchus coffeae* de 1992 a 1995 para ocho parcelas de café arábica cv Caturra sin injerto y sembradas en 1990.

2 Las Principales Especies Parásitas de los Cafetos

Los nematodos patógenos para los cafetos pertenecen principalmente a dos géneros: *Meloidogyne* y *Pratylenchus*. Ambos son endoparásitos, es decir que al menos una parte de su ciclo biológico se desarrolla en los tejidos de la raíz. Estos dos géneros tienen sin embargo biología muy diferentes. El primero pertenece al grupo de los nematodos sedentarios cuyos juveniles son los únicos estadios infestantes y sus hembras se fijan definitivamente en un sitio nutricional en el cual se establecen interacciones fuertes entre el hospedero y el parásito. El segundo pertenece al de los nematodos migratorios, que mantienen su movilidad en todos los estadios, desplazándose y nutriéndose en el interior de los tejidos y pueden en todo momento abandonar la raíz para migrar hacia otra. *M. incognita* y *M. exigua* fueron por mucho tiempo las dos únicas especies sedentarias mencionadas por la literatura. Otros estudios más detallados revelaron la existencia de un gran número de especies o patotipos que pertenecen a este género y que son susceptibles de parasitar los cafetos de la región (López y Salazar, 1989; Hernández *et al.* 1996). En lo que se refiere al género *Pratylenchus*, la especie *P. coffeae* es la más citada. Sin embargo, estudios recientes (Villain *et al.*, 1998) han mostrado igualmente una gran variabilidad biológica y morfológica que conduce a incertidumbres en cuanto al estatus taxonómico de algunas poblaciones.

Paralelamente, la nematofauna* presente en el campo es generalmente compleja. Los dos principales géneros, *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, se observan a menudo juntos y cohabitan con numerosas otras especies cuya patogenicidad sobre los cafetos no es conocida, ni sus interacciones con las especies de los dos primeros géneros. En Guatemala, una cartografía no exhaustiva de la presencia de estos dos principales géneros fue realizada a partir de los datos de diagnóstico de ANACAFE (Asociación Nacional del Café) (figura 10-2). Casi todas las zonas productoras están infestadas por nematodos. El género *Pratylenchus* es el más frecuente, ya sea en poblaciones puras o asociadas con *Meloidogyne*. *Meloidogyne* es más frecuente en altitudes bajas. Aproximadamente la mitad de las muestras que contienen *Meloidogyne* corresponden a fincas cuya altitud es inferior a 800 m. Es igualmente más frecuente en las zonas donde la pluviometría es la más elevada; 80% de las muestras infestadas por *Meloidogyne* corresponden a sitios cuya pluviosidad es superior a 2000 mm por año. Por el contrario, *Pratylenchus* no parece mostrar ninguna preferencia para estos dos factores. No se observó ninguna preferencia de tipo de suelo para ambos géneros.

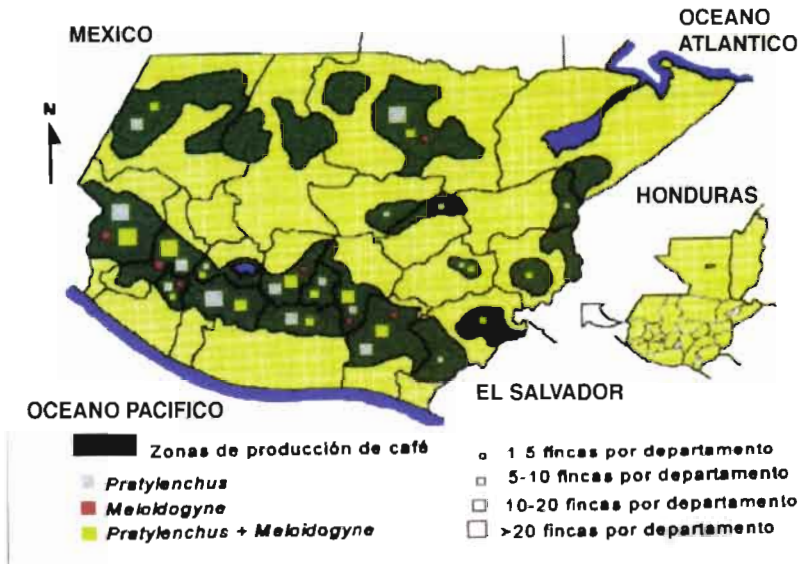


Figura 10-2. Distribución de los géneros *Pratylenchus* y *Meloidogyne* en las zonas de producción de café de Guatemala, según los resultados del Laboratorio de Diagnóstico de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE).

Un estudio común realizado en Guatemala (Cilas *et al.*, 1993) y en Costa Rica (Bertrand *et al.*, 1998a) mostró que los dos géneros de nematodos *Pratylenchus* y *Meloidogyne* tienen una distribución espacial de tipo muy agregativo, lo que es clásico en este tipo de parásitos telúricos de bajo poder de dispersión. Fue evidenciado también que existe una competencia entre los dos géneros. Los altos niveles poblacionales de un género excluyen generalmente a los altos niveles poblacionales del otro género (figura 10-3), Bertrand *et al.* (1998a) muestran que al cultivar una variedad de café arábica resistente a *Meloidogyne exigua* ocurre un aumento de los niveles de población de *Pratylenchus sp.* El cultivo de una variedad resistente a una de estas poblaciones -ya sea que se trate de una especie o de un patotipo*, puede entonces ocasionar cambios importantes en las poblaciones de nematodos. De esta manera, algunas especies (o patotipos), mantenidas hasta ahora por debajo del umbral de nocividad, se vuelven

preocupantes por la supresión de la presión de la competencia. Conviene entonces considerar la nematofauna en su conjunto y no solamente estudiar individualmente las diversas especies presentes. Por lo tanto es necesario conocer bien la diversidad biológica de las poblaciones, así como las relaciones que tienen estas mismas entre ellas y con la planta hospedera. Es solamente así como se podrán implementar estrategias de manejo integrado eficaces a largo plazo en el marco de sistemas de producción sostenibles con una mejor previsión de los riesgos potenciales. Se debe de considerar incluso a los nematodos como componente de todo un complejo patogénico de parásitos telúricos. Las lesiones provocadas por los nematodos ofrecen puertas de entrada a patógenos secundarios (bacterias, hongos) aumentando notoriamente el potencial de necrosis de los ataques parasitarios o induciendo nuevas enfermedades (fusariosis por ejemplo).

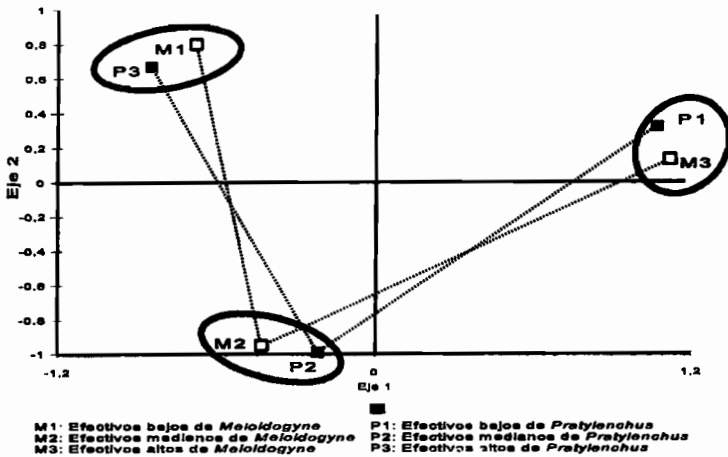


Figura 10-3. Representación de las poblaciones de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* según un análisis en componentes múltiples, en una parcela de *Coffea arabica* en Costa Rica. Se observa que los efectivos altos de un género están asociados con los efectivos bajos del otro y viceversa.

2.1 *Meloidogyne spp. Goeldi (1887), o nematodos de agallas*

2.1.1 Datos biológicos

El ciclo de desarrollo comprende cuatro estadios larvarios y un estadio adulto separados por cuatro mudas (De Guiran y Netscher, 1970; De Guiran y Ritter, 1979) (figura 10-4). El ciclo consta de dos fases: la fase exófito (fuera de la planta hospedera) que va de la eclosión de las larvas hasta la penetración de las mismas en las raíces y la fase endofita que consiste en el desarrollo completo del nematodo en el interior de los tejidos.

La hembra ubicada en el interior de las raíces, oviposita sus huevos en una masa protectora gelatinosa. Las larvas mudan una primera vez a dentro del huevo, luego eclosionan al segundo estadio juvenil (J2) y se diseminan en el suelo. Estas formas juveniles vermiformes tienen un largo variable de 250 a 600 μ m según las especies. Pueden, ya sea penetrar

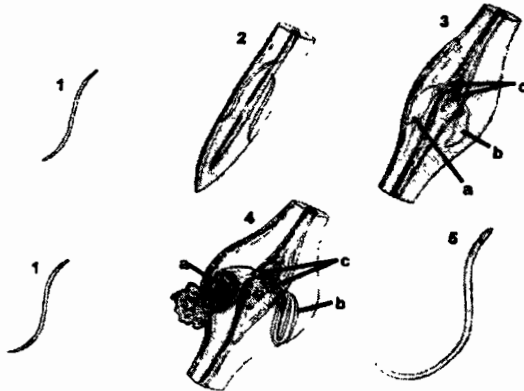


Figura 10-4. Ciclo biológico de *Meloidogyne* (según de Guiran & Netscher, 1970). 1. Larva de segundo estadio libre; 2. Larvas de segundo estadio que han penetrado en la raíz; 3. Inicio de formación de una agalla: a-b: larvas empezando a transformarse, c: células gigantes; 4. Agalla formada: a: Hembra con una masa de huevos externa, b: macho enrollado en su cutícula larval, c: células gigantes; 5. Macho libre.

inmediatamente en la raíz, o esperar varios meses en el suelo en ausencia de un hospedero o en caso de condiciones desfavorables. La penetración se hace generalmente a proximidad del ápice de las raíces, los nematodos alcanzan su sitio nutricional a proximidad del cilindro central y comienzan a inflarse. A partir del tercer estadio juvenil, se forman células gigantes alrededor del punto de fijación del nematodo y una agalla comienza a aparecer sobre la raíz.

Después de la cuarta muda, los *Meloidogyne* alcanzan el estadio adulto. Los machos, apelonados en el interior de la cutícula juvenil siguen siendo vermiformes y aguzados (largo de 700 a 1900 μm). Poseen un estilete que probablemente no es funcional lo que hace que no se nutran. Las hembras crecen rápidamente y se vuelven piriformes o esféricas, con un largo de 250 a 450 μm y un ancho de 300 a 600 μm (foto 10-3).

La masa de huevos puede situarse en el exterior de la raíz, si la extremidad posterior de la hembra emerge de la raíz. Al contrario, si la hembra está completamente encerrada en la agalla, la masa de huevos se forma en el interior de los tejidos.

La duración del ciclo biológico de los *Meloidogyne* depende de factores tales como la temperatura y la planta hospedera. Lordello (1977) menciona que a una temperatura de 27.5 a 30°C, el estadio adulto se alcanza a los 17 días después de la penetración de los individuos de segundo estadio juvenil en las raíces. Esta duración es de 21 a 30 días a una temperatura de 24.5°C. A temperaturas inferiores a los 15°C, o superiores a los 33°C, el ciclo biológico no puede completarse. Lima, citado por Campos *et al.* (1990), observa un período de 32-42 días a 25-30°C para que *M. exigua* complete su ciclo.

La mayoría de las especies parásitas de los cafetos se reproducen por partenogénesis mitótica* (apomixia*), lo cual implica la constitución de poblaciones casi clonales o mezclas de clones (Dalmasso *et al.* 1985). Esto tiene también como consecuencia la posible aparición de formas nuevas con patogenicidad variable (patotipos) capaces de multiplicarse muy rápidamente, lo que podrá tener repercusiones en los programas de fitomejoramiento.

2.1.2 Especies patógenas en el cafeto y sintomatología

Las especies mencionadas como más importantes para el cultivo del café son por un lado, *M. incognita* Chitwood (1949), presente en todas las zonas de producción, y por otro lado, *M. exigua* Goeldi (1892), exclusiva-

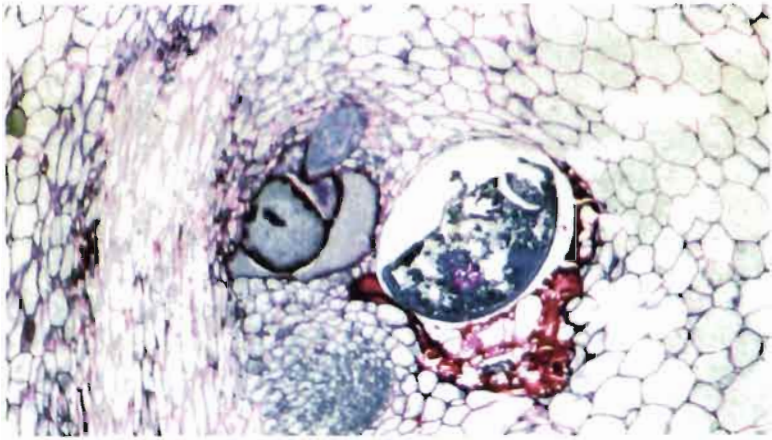


Foto 10-3. Hembra de *Meloidogyne exigua* (Costa Rica) sobre su sitio de alimentación, donde se observan células gigantes cuya transformación es ocasionada por el parasitismo de la hembra y da lugar a la formación de agallas. Se observa también la gran masa de huevos interna a la raíz (B. Bertrand).



Foto 10-4. "Corchosis" ocasionada por *Meloidogyne incognita* sobre el sistema radicular de un café adulto (Guatemala), afectando todas las raíces principales y también la pivotante mientras la casi totalidad de las raíces absorbentes ha desaparecido (L.Villain).

mente americana pero la más abundante en este continente (Campos *et al.*, 1990). Sin embargo las herramientas clásicas de taxonomía utilizadas en el caso de los nematodos fitoparásitos, que consisten en estudios morfológicos o morfométricos no son suficientes para caracterizar con precisión las poblaciones de nematodos a causa de la gran variabilidad de estas características. En el caso del género *Meloidogyne*, se ha utilizado esencialmente la observación de placas perineales (diseños cuticulares alrededor del ano). El estudio por electrofóresis de los sistemas isoenzimáticos, en particular de las esterasas, es una herramienta mucho más precisa y confiable. Ahora se aplica de manera corriente para las identificaciones dentro del género *Meloidogyne* (Bergé y Dalmaso, 1975; Dalmaso y Bergé, 1978; Janati *et al.*, 1982; Esbenshade y Triantaphyllou, 1985; Fargette, 1987). Un estudio llevado a cabo en cuatro sistemas isoenzimáticos discriminantes permitió evidenciar (cuadro 10-1) la gran diversidad de especies, incluso de tipos que pertenecen al género *Meloidogyne* y que atacan los cafetos en América Central (Hernández *et al.*, 1995, 1996).

Cuadro 10-1. Caracterización de las poblaciones del género *Meloidogyne* originarias de América Central (Hernández *et al.*, 1996).

Fenotipos enzimáticos				Placas perineales	Especie	Origen
EST	MDH	SOD	GOT			
A2	N1	JA2	N1	Ar	<i>M. arenaria</i>	El Salvador
VF1	N1	N1a	H1	Ex	<i>M. exigua</i>	Costa Rica
VF1	N1	N1a	H1	Ex	<i>M. exigua</i>	Honduras
VF1	N1	N1a	H1	Ex	<i>M. exigua</i>	Nicaragua
VF1	N1	N1a	N1a	Ex	<i>M. exigua</i>	Costa Rica
M1F1b	N1	N1b	N1	Ab	<i>M. arabicida</i>	Costa Rica
F1	N1	N2	N1	In	<i>M. incognita?</i>	Guatemala
F1	N1a	N1b	N1	In	<i>M. incognita?</i>	Guatemala
M1F1a	N1	I2	N1	In	<i>Meloidogyne</i> sp1	El Salvador
Sa4	N1	N1b	N1	In	<i>Meloidogyne</i> sp2	El Salvador

Tipos de placas perineales: Ar = *M. arenaria*; Ex = *M. exigua*; In = *M. incognita*; Ab = *M. arabicida*

La especie *M. exigua* fue identificada en Costa Rica, en Nicaragua y en Honduras. Provoca en el campo rosarios de agallas de tamaño relativamente pequeño que se fusionan a veces para generar agallas más grandes y alargadas. Las mismas son generalmente observadas en las raíces secundarias poco o nada lignificadas. Estas agallas encierran a las hembras y las masas de huevos que no aparecen entonces en el exterior (foto 10-3). En el campo, esta especie no ocasiona generalmente destrucciones masivas de raíces y no es por lo tanto considerada como un patógeno severo. Sin embargo, en algunas condiciones (almácigos, plantas jóvenes, suelos poco fértiles y sequías, entre otras) puede conllevar a un deterioro grave (Campos *et al.*, 1990; Gonçalves, 1992). En condiciones favorables para el cultivo de café, Aguilar *et al.* (1997) estiman en aproximadamente 10%, las pérdidas de producción ocasionadas por este nematodo.

M. arabicida López & Salazar (1989) es una especie recientemente descrita en la región de Juan Viñas en Costa Rica y se asocia a un síndrome de marchitamiento muy grave de los cafetos, la "corchosis" que se manifiesta por agallas acorchadas y de gran tamaño que alcanzan las raíces principales y la raíz pivotante. Conduce a la muerte de las plantas después de que entran en producción. El estudio del fenotipo enzimático de *M. arabicida* confirma que se trata de una especie distinta. En asociación con este nematodo, se encontraron algunos hongos que pertenecen a los géneros *Fusarium*, *Cylindrocladium* y *Phialophora* y podrían contribuir en la patogenicidad de este complejo parasítico (Calderón Vega, 1989). Un estudio reveló recientemente que el principal hongo asociado es *Fusarium sp.* (Bertrand, en prensa). Este hongo inoculado solo al cafeto con o sin herida previa, no es patógeno. Cuando el nematodo es inoculado solo, no se constata la aparición de la "corchosis", por el contrario, en asociación con *Fusarium sp.*, provoca el desarrollo de la corchosis. Asociaciones similares fueron descritas por Negrón y Acosta (1989).

M. arenaria Chitwood (1949) fue detectada en El Salvador. Esta especie sólo ha sido mencionada antes como parásito de *C. canephora* en Jamaica, sin indicación de síntomas ni de patogenicidad (Whitehead, 1969). Los estudios llevados a cabo por Hernández *et al.* (1995, 1996) constituyen entonces una nueva información. En este mismo país, dos tipos nuevos que presentan placas perineales características de *M. incognita* han sido igualmente detectadas y han revelado ser patógenas en la mayoría de las variedades evaluadas de *C. arabica*.

El fenotipo esterásico F1 caracteriza la mayoría de las poblaciones presentes en Guatemala (Anzueto, 1993; Hernández *et al.*, 1996). Este fenotipo fue descrito para numerosas poblaciones parásitas de los cafetos en América Latina (Esbenshade y Triantaphyllou, 1985). Además, ha sido

recientemente relacionado con la descripción de dos nuevas especies que podrían ser sinónimas: *M. konaensis* en Hawai (Eisenback *et al.*, 1994) y *M. paranaensis* en Brasil (Carneiro *et al.*, 1996). Por otro lado, este tipo había sido anteriormente observado para poblaciones particulares de *M. incognita* de Europa y de Africa del oeste (Bergé y Dalmaso, 1975; Fargette, 1987). La placa perineal y el perfil enzimático de las poblaciones de Guatemala son similarmente atribuibles a *M. incognita*. Es entonces muy posible que estas poblaciones sean formas emparentadas a *M. incognita*. Los síntomas en las raíces observados en el campo se manifiestan de manera espectacular en forma de agallas corchosas de gran tamaño que afectan las raíces principales y a veces incluso la raíz pivotante (foto 10-4). Esta sintomatología es entonces parecida al síndrome de la corchosis, observado en Costa Rica y asociado a la presencia de *M. arabicida* y *Fusarium sp.* (López y Salazar, 1989) o en México en el estado de Xalapa, donde la especie reportada es *M. incognita* (Castillo, 1995).

Por otro lado, se confirma que las especies *M. javanica* Chitwood (1949) y *M. hapla* Chitwood (1949) así como una población emparentada con *M. enterolobii* Yang & Eisenback (1983) no son patógenas para *C. arabica* cv Catuai y Sarchimor (Hernández *et al.*, 1966).

Actualmente, se están realizando trabajos basados en el estudio del genoma después de su amplificación por el método de PCR* (RAPD* y AFLP*). Deberían permitir dar nuevas herramientas con un alto nivel de precisión y confiabilidad para la caracterización de las poblaciones de nematodos.

2.1.3 Patogenecidad

Sobre plántulas inoculadas en condiciones controladas, las raíces parasitadas por *M. exigua* presentan agallas gruesas, alargadas, que pueden alcanzar hasta 1 cm de diámetro. Estas agallas encierran varias hembras con sus masas de huevos, así como un número a veces importante de juveniles (Hernández *et al.*, 1996). Por el contrario, *M. arenaria*, *M. arabicida*, *M. incognita* de Guatemala (Est : F1), como también especies indeterminadas de El Salvador provocan, en las mismas condiciones agallas de tamaño milimétrico y de forma esférica. Encierran una sola hembra, cuya masa de huevos está al exterior de los tejidos (Hernández *et al.*, 1996) y es observable por las partículas de substrato que se adhieren a ella.

Las poblaciones de América Central muestran una gran diversidad de su capacidad parasitaria en relación con diferentes fenotipos de cafetos (figura 10-5).

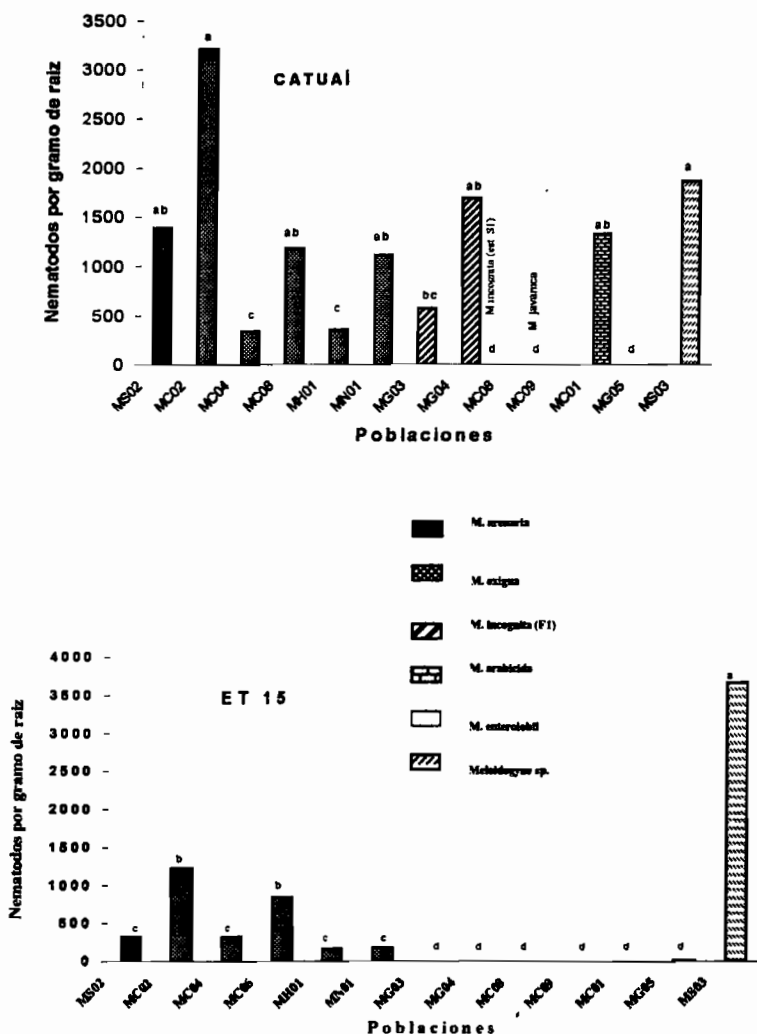


Figura 10-5. Densidades poblacionales observadas en las raíces de dos variedades de *C. arabica* Catuaí y una línea de Etiopía (ET15), 120 días después de inocular 300 juveniles por planta de 13 poblaciones de *Meloidogyne* spp. de Centroamérica. Las barras con la misma letra indican valores sin diferencia significativa según el test de Newman & Keul ($P < 0,05$). La segunda letra de los códigos que identifican las poblaciones de nematodos estudiadas significa el país de origen: C = Costa Rica; G = Guatemala; H = Honduras; S = El Salvador. (Según Hernández *et al.*, 1996).

La especie *M. incognita* es la más citada como parásito de mayor importancia en los cafetos en numerosos países (Campos *et al.*, 1990). Los estudios de Anzueto *et al.* (1991, 1993) y Hernández *et al.* (1996) mostraron que la población de *M. incognita* de Guatemala (Est : F1) se multiplica fuertemente en Catuai, pero se desarrolla mucho menos rápidamente en Sarchimor y muy poco o no del todo en un gran número de orígenes de Etiopía. Por otro lado, las especies o tipos de El Salvador emparentados con *M. incognita* según su placa perineal, muestran una gran afinidad para las diversas variedades inoculadas (Hernández *et al.*, 1996; Peña, 1994). Estudios publicados por Bertrand *et al.* (1995) y Anzueto *et al.* (1991, 1993) revelaron que la capacidad parasitaria de las poblaciones de *M. incognita* de Guatemala (Esterasa F1) sigue siendo importante en la mayoría de las descendencias de clones de *C. canephora* con excepción de algunos clones particulares.

M. exigua es capaz de reproducirse de manera variable pero siempre con un buen nivel sobre todas las variedades en las cuales las diversas poblaciones han sido inoculadas. En relación con la población de Costa Rica, las poblaciones tanto de Honduras como de Nicaragua se reproducen de manera similar en la variedad Catuai pero de menor forma en la línea de Etiopía ET 15. Por otra parte, una de las poblaciones de Costa Rica, presenta una tasa de multiplicación particularmente elevada en Catuai y en las líneas etíopes evaluadas. A pesar de que todas estas poblaciones no presentan polimorfismo bioquímico significativo para los cuatro sistemas enzimáticos probados, una variabilidad biológica ya ha sido señalada por Carneiro *et al.* (1996) en poblaciones Brasileñas. La capacidad parasitaria de las poblaciones de *M. exigua* de Costa Rica es baja o muy baja en diferentes descendencias estudiadas de líneas de *C. canephora* (Morera y López, 1987; Chaverri, 1987; Bertrand *et al.*, 1998-b). Por otro lado, Bertrand *et al.* (1997b) mostraron que muchas líneas de Catimores y de Sarchimores son resistentes a este nematodo.

La población de *M. arenaria* originaria de El Salvador presenta una capacidad de multiplicación más o menos similar a las de *M. exigua* sobre Catuai y las líneas etíopes, pero se desarrolla más fuertemente en el Sarchimor C1669-20, mostrando que esta especie, al menos el tipo originario del Salvador, podría ser un parásito de mayor importancia para los cafetos de este país y constituir una amenaza para toda la región centroamericana, incluso América Latina.

La especie *M. arabicida*, originaria de Costa Rica sospechada de estar asociada con el marchitamiento (síndrome) grave llamado "corchosis", se reproduce fuertemente en la variedad Catuai, pero no en la línea etíope

ET 15. Las evaluaciones recientes muestran igualmente que se reproduce poco o nada en *C. canephora* var. *robusta* (Bertrand, 1998b).

2.2 *Pratylenchus* spp. Filip'jev, 1936, o nematodo lesionador

2.2.1 Datos biológicos

Todas las especies del género *Pratylenchus* son endoparásitos migradores. Todos los estados, de los neonatos a los adultos, son libres e infestantes. Pueden salir de las raíces en cualquier etapa de su ciclo para vivir temporalmente en el suelo e ir luego a parasitar nuevas raíces. Tanto las juveniles como los adultos (ambos sexos) son vermiformes. Al nutrirse a expensas de las células del parénquima cortical de las raíces, provocan lesiones que son a menudo colonizadas luego por patógenos secundarios como los hongos telúricos o bacterias. Esto se traduce en necrosis que dan un aspecto café a las raíces e incluso un desprendimiento del córtex en el caso de raíces lignificadas dejando solo el cilindro central (fotos 10-5 y 10-6). De ahí su nombre inglés de *lesion nematodes* (nematodo lesionador).

Las fluctuaciones estacionales de poblaciones de *P. coffeae* estudiadas en Guatemala (Villain *et al.*, 1991) son relacionadas con la distribución de lluvias, pero también con el ciclo fisiológico del cafeto, en particular su dinámica radical que está en sí misma ligada a la pluviosidad (figura 10-6). Se observan niveles poblacionales elevados durante la estación seca (diciembre-febrero) y a mediados de la estación lluviosa (junio-julio) durante un período de menor pluviosidad llamado comúnmente "canícula". Estos períodos corresponden igualmente a períodos de crecimiento radicular. Las bajas densidades poblacionales de nematodos son constatadas durante la segunda mitad de la estación lluviosa, momento en el cual se observa una degradación importante de las raíces. Es probable que la alta tasa de humedad del suelo favorezca el desarrollo de patógenos secundarios (hongos y bacterias) que aumentan fuertemente el proceso de necrosis de las raíces, reduciendo así las fuentes alimenticias de los nematodos.

Para la especie *P. coffeae*, los machos son frecuentes, y su reproducción es de tipo anfimíctica* obligatoria (Roman *et al.*; 1969). Las observaciones hechas en tres poblaciones de *Pratylenchus* spp. de Guatemala (2 poblaciones de *P. coffeae* y una población de *Pratylenchus* sp. todavía no identificadas)



Foto 10-5. Sistema radicular de un cafeto arábica parasitado por *Pratylenchus coffeae* con necrosis y desprendimiento del cortex de las raíces secundarias y desaparición de las raíces absorbentes (L.Villain).

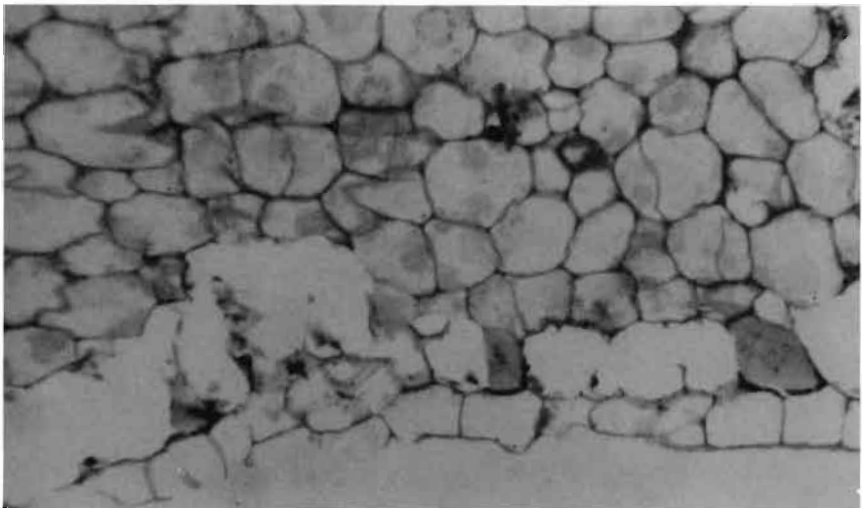


Foto 10-6. Corte transversal de una raíz de plantita de *C. arabica* inoculada con *Pratylenchus coffeae*. Aparecen lesiones en el cortex con varias células rotas, las cuales resultan del paso del nematodo que migra de célula en célula, de las cuales succiona el contenido para alimentarse (L.Villain).

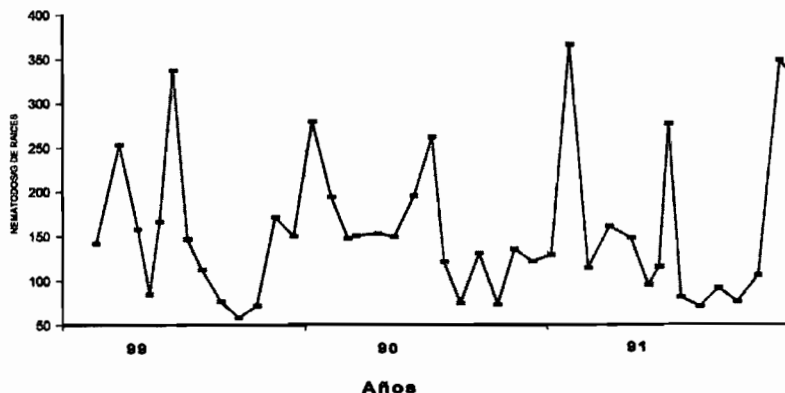


Figura 10-6. Dinámica poblacional de *Pratylenchus* sp. en Guatemala en una parcela de *Coffea arabica* c.v. Catuai rojo en el piemonte sur de la cadena volcánica de Guatemala (Costa del Pacífico) a una altitud de 450 m.

parecen confirmar un modo de reproducción anfimíctica obligatoria (Villain *et al.*, 1998). Por el contrario, algunas especies tales como *P. brachyurus*, cuyos machos están ausentes o son escasos, se reproducen por partenogénesis mitótica.

2.2.2 Las especies patógenas en el café

El género *Pratylenchus* Filip'jev, 1936, también llamado nematodo lesionador, contiene varias especies ampliamente distribuidas en el mundo y que ocasionan graves daños en diversos cultivos de gran importancia económica, tanto en las regiones templadas como en las regiones tropicales. Las especies más ampliamente diseminadas en las zonas tropicales y subtropicales son: *P. brachyurus* (Godfrey, 1929) Filip'jev & Schuurmans Stekhoven, 1941; *P. coffeae* (Zimmermann, 1898) Filip'jev & Schuurmans Stekhoven, 1941 y *P. zaei* Graham 1951 (Luc, 1990). Si los géneros perteneciendo a la familia Pratylenchidae Thorne, 1949 (Nacobidae Chitwood, 1950, Radopholidae Allen & Sherr, 1967) son fácilmente identificables, el género *Pratylenchus* por el contrario es considerado como estenomórfico (Luc, 1987), es decir que comprende especies morfológicamente muy

similares, y por ende, difícilmente identificables. Esto se ve agravado por la gran variabilidad intraespecífica de las características morfológicas (como la forma de la cola) y morfométricas (Luc, 1987; Loof, 1991), principalmente utilizadas en la identificación de los especímenes de este género. Debido a ello, el número de especies repertoriadas varía de 47 a 63 dependiendo de los autores (Luc, 1987; Handoo y Golden, 1989; Loof 1991), con unos quince tipos inciertos (*species inquirendae*).

La especie más citada en café es *P. coffeae* (fotos 10-7 y 10-8 y ver cuadro 10-2). Es mencionada como responsable de importantes daños en el cultivo del café en numerosos países a través del mundo, tanto a nivel de los almacigos como a nivel del campo. Esta especie es igualmente considerada como un parásito importante del cultivo de bananos y plátanos. Bridge (1997) avanza la hipótesis de que este nematodo podría tener el mismo origen geográfico que este hospedero, es decir las islas del Pacífico y países limítrofes de donde habría sido aparentemente difundido en el mundo por el transporte de material vegetal.

P. brachyurus es citado como parásito de cafetos esencialmente en Brasil en diversas regiones productoras tales como el estado de Sao Pablo, donde se considera que está más difundida que *P. coffeae* (Gonçalves *et al.*, 1978) o el estado de Minas Gerais donde es igualmente observado con frecuencia (Lordello y Mello Filho, 1969; D'Antonio *et al.*, 1980; Campos y Lima, 1986). Fue también observado en café en Hawai (Schenck *et al.*, 1990) en Perú (Krusberg *et al.*, 1958) y en Africa del oeste, en Costa de Marfil (Whitehead, 1968). No ha habido sin embargo ninguna evaluación de su patogenicidad para el cafeto.

Otras especies del género *Pratylenchus* son citadas en cafetos sin que su patogenicidad hacia este hospedero sea conocida. *P. pratensis* (de Man, 1880) Filip'jev, 1936 fue reportado en una localidad del sur de la India por Somasekhar (Whitehead, 1968). *P. doodeyi* Sher Allen, 1953, importante plaga de los bananos y plátanos en Africa del Este y en las Islas Canarias, fue detectado sobre cafetos en Tanzania por Bridge (1984). *P. loosi* Loof, 1960, importante parásito del cultivo de té en diversas regiones de Asia, fue observado por Hutchinson en cafetos en Sri Lanka (Whitehead, 1968). Hay que notar que esta especie fue recientemente reportada en el continente americano, en pastizales de la Florida (Inserra *et al.*, 1991). No ha sido reportada en cafetos de América Central. Sin embargo, según los mismos autores, esta especie puede ser fácilmente confundida con *P. coffea*, especie muy cercana (Inserra *et al.*, 1996). En particular, algunas poblaciones de Guatemala pertenecen a un "complejo específico" *P. coffea* - *P. loosi* (Anzueto, 1991, 1993; Villain *et al.*, 1998) sin que sea posible hoy día dilucidar debido a las dificultades de identificación morfológica.

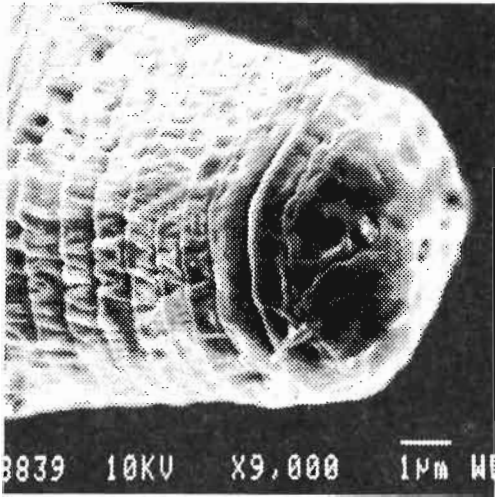


Foto 10-7. Cabeza de una hembra de *Pratylenchus coffea* dejando ver el disco labial, cuyo diseño es un criterio taxonómico. En el centro se observa el orificio por el cual sale el estilete que funciona como una jeringa para punzar las células y succionar su contenido. Observación bajo microscopio electrónico de barrido (P. Baujard).

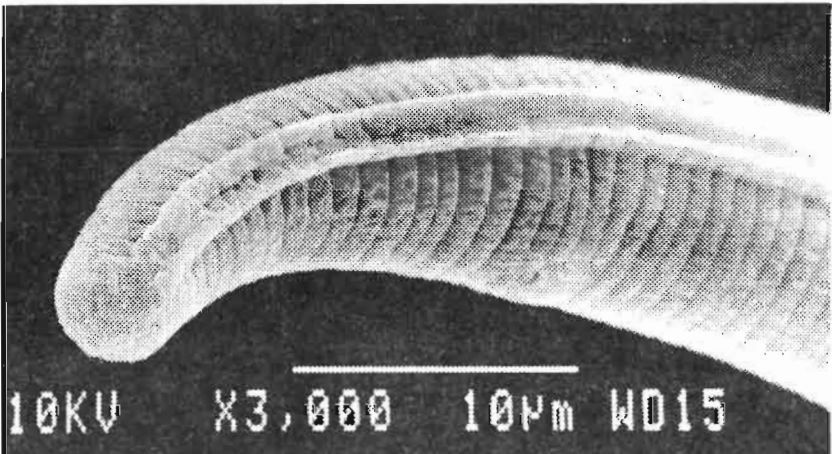


Foto 10-8. Cola de una hembra de *Pratylenchus coffea*. Su forma apical es variable de una especie a otra y se usa a veces como criterio taxonómico. Se observan los campos laterales (cl) y el ano (a). Observación bajo microscopio electrónico de barrido (P. Baujard).

Cuadro 10-2. Distribución geográfica de *P. coffeae* en cafeto.

CONTINENTE	PAIS	REFERENCIA
AMERICAS	Hawái	Schenck y Holtzmann, 1990
	Guatemala	Chitwood y Berger, 1960 Schieber y Sosa, 1960
	El Salvador	Abrego y Holdeman, 1961 Whitehead, 1969 Gutiérrez y Jiménez, 1970
	Costa Rica	Salas y Echandi, 1961 Tarjan, 1971 Figueroa y Perlazo, 1982
	Venezuela	Flores y Yopez, 1969
	Brasil	Monteiro y Lordello, 1974
CARIBE	Puerto Rico	Ayala, 1976
	República Dominicana	Schieber y Grullon, 1969
	Guadalupe	Kermarrec y La Massese, 1972
ASIA	India	Palanichamy, 1973
	Indonesia	Bally y Reydon, 1931
	Java	Whitehead, 1968
AFRICA	Tanzania	Bridge, 1984

Hay que mencionar también nuevas especies recientemente descritas en cafetos en la región: *P. gutierrezii* en Costa Rica (Golden *et al.*, 1992), *P. panamaensis* en Panamá (Siddiqi *et al.*, 1991). Aquí nuevamente, no se hace ninguna mención de su patogenicidad sobre cafetos.

Por otro lado, se realizaron numerosas observaciones de la presencia del género *Pratylenchus* en cafetos en la región sin que la especie haya podido ser identificada, como por ejemplo en Nicaragua (Sequeira, Bustamante *et al.*, 1979; Rosales y Mercado, 1991; García, 1995); en Costa

Rica (Araya, 1994) y en Cuba donde Sampedro *et al.* (1986) observan que los daños más importantes observados en el cultivo de café están ligados a la presencia de los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus*. Por otro lado, en Costa Rica (Tarjan, 1971) y en Guadalupe (Kermarrec *et al.*, 1972) tipos no identificados han sido observados asociados a la presencia de *P. coffeae*.

Un estudio morfométrico y morfológico con ayuda del microscopio electrónico se está llevando a cabo actualmente para caracterizar diferentes poblaciones de Guatemala originarias de diferentes zonas ecológicas. Dos de estas poblaciones con orígenes muy diferentes parecen pertenecer a la especie *P. coffea*. Una ha sido extraída de raíces de *C. arabica* muestreadas en la región norte de Cobán (vertiente atlántica) a una altitud de 1500 m y la otra des raíces de porta-injertos de *C. canephora* de 30 años de edad muestreados en la parte inferior del piemonte de la cordillera volcánica (vertiente pacífica) a una altura de 400 m. Una tercera población, igualmente muestreada en la región del piemonte de la cordillera volcánica (vertiente pacífica) pero a una altitud de 1200 m y en raíces de *C. arabica* sigue manteniéndose aun no identificada. La observación del disco labial en el microscopio electrónico nos permite decir sin embargo que no pertenece al grupo morfológico definido por Corbett *et al.* (1983) y al cual pertenece la especie *P. coffeae* (Villain *et al.*, 1998).

Las herramientas utilizadas hasta ahora para identificar y describir las especies, basadas en la morfología y la morfometría son insuficientes debido a la gran variabilidad intraespecífica de las características estudiadas. Las herramientas bioquímicas que permiten el estudio de las proteínas (isoenzimas*), así como las herramientas moleculares para el estudio directo del genoma deberían permitir esclarecer la sistemática del género y caracterizar con mayor precisión las poblaciones encontradas, a nivel específico o intraespecífico. Recientes trabajos emprendidos en 3 poblaciones de *Pratylenchus sp.* muestreadas en café de Guatemala y de El Salvador, para estudiar la filogenia de estas poblaciones por el método de AFLP, dio unos primeros resultados prometedores (Hervé, 1997). Esta caracterización taxonómica deberá ser completada por supuesto por una caracterización biológica como lo veremos en las dos secciones siguientes, al estudiar su patogenicidad sobre diferentes plantas hospederas, y en particular frente a los diferentes cultivares o descendencias susceptibles de interesar el fitomejoramiento.

2.2.3 La patogenicidad

La patogenicidad de *Pratylenchus sp* sobre *Coffea arabica* puede ser espectacular el campo como se observa a menudo en Guatemala (foto 10-9).



Foto 10-9. Ilustración de la patogenicidad de una población de *Pratylenchus* sp. sobre cafetos cv Catuai, 6 meses después de inocular con 100, 200 y 400 nematodos por planta en macetas de 2.5 litros. Se puede observar en comparación un testigo sano a la izquierda (L.Villain).



Foto 10-10. Plantas provenientes de cruces de polinización controlada de *C. canephora* 6 meses después de haber sido inoculadas con una población de *Meloidogyne incognita* de Guatemala. A la izquierda: cinco plantas resistentes de una descendencia uno de cuyos padres es genitor de la variedad porta-injerto Nemaya; a la derecha: cinco plantas susceptibles de una descendencia de 2 clones diferentes.

La patogenicidad sobre *Coffea arabica* de las tres poblaciones de *Pratylenchus* sp. de Guatemala antes mencionadas ha sido estudiada y resultado ser diferente de una población a otra (figura 10-7) (Villain *et al.*, 1998). Estas observaciones concuerdan con las hechas por otros estudios que muestran la existencia de una variabilidad de patogenicidad en las diferentes especies de este género en función de la región geográfica de origen o del hospedero muestreado. Pinochet *et al.* (1993) notaron diferencias de patogenicidad entre seis orígenes geográficas de *P. vulnus* en porta-injertos de frutales. Igualmente Olthof *et al.* (1968) distinguieron "razas" de *P. penetrans* sobre tabaco cuya patogenicidad difiere de una a otra. En *P. coffeae*, Kumar *et al.* (1972) observaron razas fisiológicas de patogenicidad variable en *C. arabica*, en función del hospedero del cual había sido tomada la población de nematodos.

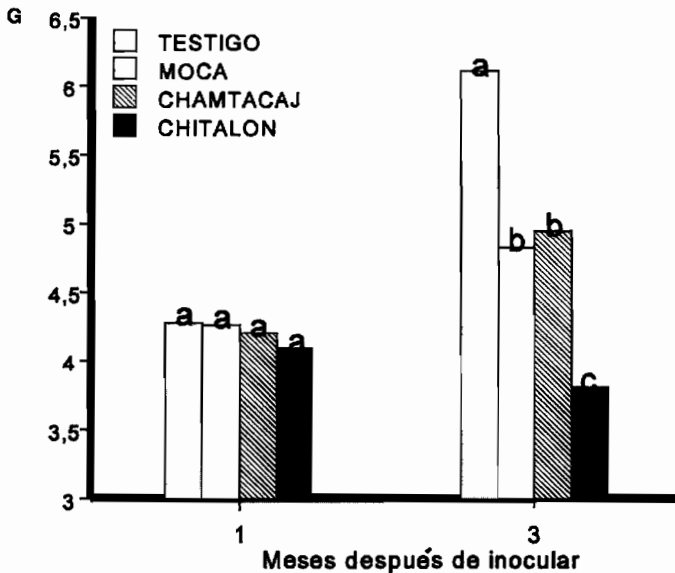


Figura 10-7. Comparación de patogenicidad de tres poblaciones geográficas de *Pratylenchus* spp. de Guatemala: Peso fresco de cafetos arabica cv Catuai, 1 y 3 meses después de inocular con 200 *Pratylenchus* al estadio de un par de hojas en macetas de 2.5 litros. Para cada fecha, los datos con la misma letra no son diferentes según la prueba de Newman & Keuls ($P < 0.05$). Los datos fueron transformados en $\log_{10}(X + 1)$ para el análisis.

Consideraciones sobre la diversidad biológica de la nematofauna parásitando los cafetos: Una muy amplia diversidad de la capacidad parasitaria en cafetos ha sido claramente evidenciada en las poblaciones que pertenecen al género *Meloidogyne* y solo comienza a ser estudiada para el género *Pratylenchus*. Por lo tanto, la caracterización precisa de las poblaciones es imperativa, para permitir perfeccionar estrategias de manejo integrado eficaces, duraderas y adaptadas, a las diversas situaciones agroecológicas de la caficultura. Esto pasa por un mayor conocimiento de la patogenicidad de las poblaciones que componen la nematofauna* fitoparásita en las diferentes zonas de producción cafetalera y por el desarrollo de herramientas fiables para su identificación precisa. Es una meta de mayor importancia sobre todo en el marco de la búsqueda y gestión de genes de resistencia y más generalmente para el futuro de la caficultura.

3 Manejo Integrado de Nematodos Parásitos de los Cafetos

En el campo, la erradicación de los nematodos, como la de la mayoría de los parásitos telúricos, es imposible en un contexto de caficultura sostenible y de respeto del medio ambiente. Conviene entonces cohabitar con estos parásitos asociando diversos métodos de control disponibles y adaptados a las condiciones locales de cultivo, con el fin de mantener las poblaciones por debajo de su umbral económico de nocividad. Este manejo integrado de las poblaciones de nematodos parásitos de los cafetos, debe concentrarse en la utilización de germoplasma resistente (variedades comerciales o porta-injertos). La búsqueda de fuentes de resistencia a los nematodos es por ello uno de los principales criterios de selección del programa regional de mejoramiento del café en América Central. Este enfoque, basado en la resistencia varietal, debe estar acompañado de un cierto número de intervenciones integradas que permitan disminuir la presión parasitaria con el fin de proteger y conservar las resistencias seleccionadas.

3.1 Diagnóstico nematológico y toma de decisión

Para establecer un diagnóstico y tomar las decisiones oportunas de control, conviene, primero, obtener una estimación suficientemente precisa del nivel de infestación de la parcela, y luego, interpretar correctamente el significado de este valor en términos de perjuicio económico potencial.

3.1.1 *Estimación de la infestación*

La distribución de nematodos en el campo, como se ilustra en la sección 1, es muy agregativa, es decir que estos parásitos se reparten en focos de infestación. En consecuencia, la estrategia de muestreo debe incluir un número de muestras elementales suficiente para obtener una buena estimación de la infestación promedio de una parcela (Cilas *et al.*, 1993). Este número de muestras (suelo y/o raíces) depende del tamaño y de la homogeneidad de la parcela, pero se estima, por analogía con otros cultivos, que debe ser al menos igual a quince (Sarah, 1991). Por encima de las veinte muestras, la precisión de la estimación aumenta poco con respecto al trabajo que da (Cilas *et al.*, 1993). Las plantas muestreadas deben ser seleccionadas al azar, o distribuidas uniformemente en la parcela, sin que el escogimiento se base en su apariencia. Sobre todo, el escogimiento sistemático de plantas que presentan los síntomas visuales más intensos no es una buena estrategia porque puede conducir a una subestimación del nivel de infestación, porque los nematodos ya no encuentran un medio de desarrollo favorable en una raíz muy dañada.

Aun si se admite que el muestreo se ha realizado correctamente, el resultado bruto de la estimación depende también de la metodología empleada para la extracción de los nematodos (Sarah, 1991). Los métodos de extracción son en efecto numerosos y sus modalidades pueden variar mucho de un laboratorio al otro, lo que conduce a la obtención de resultados que no se pueden comparar directamente. Por otro lado, el resultado bruto obtenido no da sino una imagen instantánea, que depende de las condiciones climáticas estacionales (ver apartado 2.2.1)

3.1.2 *Interpretación de la estimación de poblaciones de nematodos*

El impacto que podrá tener sobre los cafetos el nivel estimado de nematodos, y por consiguiente, el umbral económico perjudicial por debajo del cual conviene mantener las poblaciones, depende de numerosos factores bióticos y abióticos ligados a las condiciones locales. En primer lugar, existe en las poblaciones de nematodos parásitos de los cafetos, una gran diversidad específica y biológica que se traduce por una fuerte variabilidad de patogenicidad (ver sección 2). Por otro lado, el impacto de las poblaciones de nematodos dependerá de la variedad plantada, de la edad de la parcela, de los factores edáficos (físicos, químicos y biológicos) y de las prácticas culturales (injerto, sombra, poda o manejo de tejidos, etc.). Como las condiciones agronómicas y ecológicas que encontramos

en la caficultura de América Central son muy diversas y heterogéneas dependiendo de las zonas de producción, es imposible establecer un solo umbral económico de daño de los nematodos aplicable a todas estas situaciones. Las estrategias de control deben entonces ser moduladas en función del conocimiento de las diversas situaciones locales.

3.2 Técnicas de control

3.2.1 El control químico

En las plantaciones adultas de café, el control químico contra los nematodos presenta numerosas limitaciones e inconvenientes: una eficacia limitada, incluso a veces casi nula, tanto en *Pratylenchus* spp. (Villain *et al.*, 1996) como en *Meloidogyne exigua* spp. (Bertrand *et al.*, 1998b), un costo elevado, un fuerte impacto sobre el medio ambiente y la salud humana. Es preferible aplicar los tratamientos químicos en forma preventiva a nivel del almácigo para completar las medidas profilácticas con el fin de no diseminar los nematodos. Luego, aplicaciones de nematicidas en el campo, sobre las plantas jóvenes permiten bajar el inoculo del suelo y proteger la planta durante su fase de crecimiento antes de que entre en producción. Tratándose de un cultivo perenne, estas medidas preventivas en efecto son de suma importancia puesto que permitirán garantizar una productividad elevada a largo plazo de la nueva plantación que representa al comienzo un capital importante para el agricultor.

En la mayoría de las situaciones, las modalidades de aplicación (dosis, épocas y métodos) de los nematicidas deben todavía optimizarse, tanto en los semilleros como en las plantaciones jóvenes. Diferentes factores deben ser tomados en consideración, como las especies de nematodos presentes y las principales condiciones ecológicas de la zona: distribución de las lluvias, características físicas y químicas del suelo, etc.

Los estudios sobre las fluctuaciones estacionales de las poblaciones del género *Pratylenchus* realizados en Guatemala (ver apartado 2.2.1) muestran niveles de población elevados durante la estación seca. Este período es importante en el ciclo fisiológico del cafeto, puesto que corresponde a una actividad intensa de crecimiento radicular. Parece ser importante entonces proteger las raíces de los cafetos jóvenes en el campo durante este período, realizando una aplicación de nematicida al final de la estación lluviosa, cuando el suelo presenta todavía humedad suficiente para que

los nematicidas generalmente formulados en granulados puedan actuar. Los experimentos llevados a cabo en Guatemala han mostrado la eficacia de esta aplicación al final de la estación lluviosa (comienzos de noviembre), en cafetos adultos para controlar el pico poblacional del nematodo. Por otro lado, la primera mitad de la estación de lluvias corresponde también a un pico de población. Conviene entonces realizar una aplicación de nematicidas, lo más pronto posible durante la estación desde el momento en que la humedad del suelo lo permite. Finalmente, hemos visto que los niveles de población de *Pratylenchus* sp. están naturalmente en su fase más baja durante la segunda mitad de la estación lluviosa; los tratamientos químicos durante este período no son entonces aconsejables. No se hace mención aquí de las dosis recomendadas, ya que están ampliamente descritas en los diversos manuales de caficultura de la región, o en documentos publicados por las diferentes empresas comerciales que fabrican o distribuyen los nematicidas.

3.2.2 El control genético

Los resultados de los estudios de selección de fuentes de resistencia o de tolerancia a los nematodos en *C. arabica* y en *C. canephora* se desarrollan en el capítulo 12.

Recordemos aquí primero la definición de dos términos a menudo utilizados en nematología en el marco de los estudios de las relaciones planta (hospedero)-nematodo (parásito):

- La resistencia se define como la aptitud de la planta para oponerse a la penetración y/o al desarrollo de las poblaciones parásitas en sus tejidos. Puede ser total (inmunidad) o parcial. Se evalúa por el conteo final de las poblaciones de nematodos presentes en las raíces después de inocular.
- La tolerancia se define como la aptitud de la planta para desarrollarse en presencia de parásitos. Se evalúa al medir el desarrollo de la planta y su producción en comparación con las plantas indemnes de infestación (Dalmasso *et al.*, 1992).

a) En *C. canephora*

El programa de mejoramiento varietal de *C. canephora* conducido en Brasil llevó a la creación de la variedad Apoata resistente a diversos patotipos de *Meloidogyne incognita* (Fazuoli, 1986; Gonçalves y Ferraz,

1987). Por el contrario, a pesar de que el injerto en *C. canephora* se haya practicado a gran escala desde hace más de 25 años en Guatemala, ninguna verdadera selección para la resistencia a los nematodos había sido emprendida en América Central. Aun así, este injerto dio resultados satisfactorios en el caso de ataques de *Pratylenchus* sp. en Guatemala (Villain *et al.*, 1996). Sin embargo, pareció necesario emprender un programa de selección para la resistencia a algunas poblaciones muy agresivas de *Meloidogyne* spp. y más particularmente a poblaciones de Guatemala y de El Salvador muy patógenas para el cafeto (ver apartado 2.1.3). Se inició un proyecto de evaluación y selección de germoplasma para la resistencia a los principales nematodos presentes en América Central (foto 10-10). Este proyecto que se benefició de financiamiento de la Unión Europea, comenzó a principios de los años 90 y permitió la creación de la variedad porta injertos Nemaya (Anzueto *et al.*, 1997; capítulo 12). Las relaciones hospedero-parásito entre *C. canephora* y *Pratylenchus* spp. no son totalmente conocidas todavía. Las plantas de *C. canephora* muestran frente a este nematodo una cierta tolerancia debida al vigor de esta especie y en particular de su sistema radicular. Estudios actualmente en desarrollo con algunas poblaciones de *P. coffeae* de Guatemala muestran que existe igualmente un fenómeno de resistencia a este nematodo en *C. canephora* con niveles diferentes dependiendo de los clones evaluados. Toruan-Mathius *et al.* (1995) estudiaron los mecanismos implicados en la resistencia a *P. coffeae* de diversos clones de *C. canephora* var Robusta seleccionados en Indonesia. Su estudio mostró que los clones resistentes tienen en sus raíces una concentración más elevada en polifenoles, ligada a una anatomía celular particular de la epidermis.

b) *En C. arabica*

En lo que se refiere a esta especie, no existe por el momento una variedad comercial resistente a las diversas especies o patotipos de nematodos a escala regional. Algunas descendencias de origen etíope han revelado ser resistentes a especies o poblaciones de *Meloidogyne* spp. de América Central (Anzueto, 1993; Hernández *et al.*, 1996). La hibridación con los genitores de origen etíope (Bertrand *et al.*, 1997a) realizada en los programas actuales de mejoramiento varietal de PROMECAFE en América Central para la creación de variedades comerciales resistentes a algunas poblaciones, es complementaria a la selección de porta-injertos resistentes. Esta vía podrá interesar los países o regiones poco adeptos a los injertos.

La obtención de una variedad resistente universal para la región parece ilusoria debido a la diversidad de patogenicidad observada a dentro del género *Meloidogyne*. En un primer enfoque, habrá que seleccionar los genotipos adaptados a las poblaciones de parásitos presentes en cada país o región de producción incluyendo las poblaciones de *Pratylenchus* spp que ocasionan daños de gran importancia económica en algunos países como Guatemala.

3.2.3 Control cultural

a) El injerto de *C. arabica* en *C. canephora*: la experiencia de Guatemala

Debido a la presencia frecuente de nematodos a menudo muy patógenos en las plantaciones de café en Guatemala, un método de injerto fue instaurado en este país por Reyna (1968), utilizando como porta-injertos plantas de *C. canephora* no seleccionados para los cuales se había observado una cierta resistencia y/o tolerancia a estos parásitos. Este injerto fue realizado en el estadio de un par de hojas cotiledóneas ("mariposa") (foto 10-11) y es corrientemente utilizado por los productores de café en este país. Su éxito se debe principalmente a:

- Un muy buen manejo de la técnica: 90 a 95% de éxito a nivel del almácigo
- Un control eficaz de las poblaciones de *Pratylenchus* sp. (foto 10-12), nematodo de mayor distribución en este país (figura 10-8).
- Un costo bajo: aproximadamente dos centavos de dólar por planta en costo suplementario con respecto al material no injertado.

En un experimento realizado en Guatemala para evaluar la eficiencia de la practica del injerto sobre *C. Canephora* para el control de *Pratylenchus* spp. se observo que la productividad de los cafetos arabica injertados es 4 veces superior en promedio con respecto a las plantas que no son injertadas.

Esta técnica fue recientemente introducida con éxito en El Salvador, donde los productores de café están también confrontados con un parasitismo importante ligado a poblaciones altamente patógenas (Hernández *et al.* 1995, 1996). Fuera de América Central, esta práctica cultural es igualmente corriente en Brasil donde es sistemáticamente utilizada en las zonas afectadas por los nematodos.



Foto 10-11. Plantitas injertadas al estadio "mariposa" (con hojas cotiledonares) sembradas en un semillero antes de pasarlas a bolsa, ya cuando esté finalizado el pegue entre injerto y patrón.



Foto 10-12. Parcela infestada por *Pratylenchus* sp. Las plantas no injertadas cv. Catuaí rojo del primer plano manifiestan un marchitamiento pronunciado, mientras las plantas del fondo, que son de la misma variedad y edad pero injertadas sobre *C. canephora*, presentan un aspecto lozano.

L. Villain, F. Anzueto, A. Hernández y J. L. Sarah

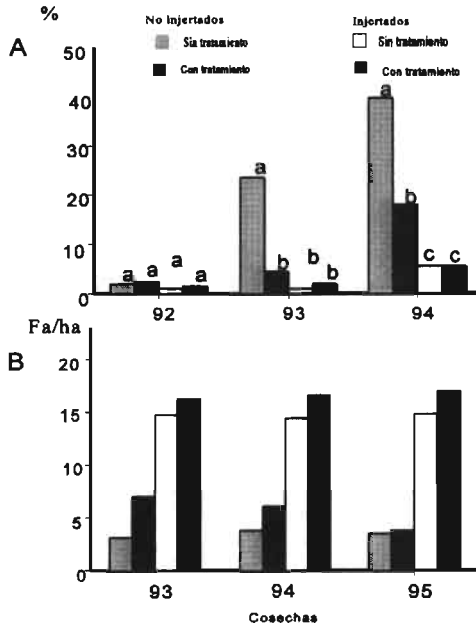


Figura 10-8. Comparación entre parcelas infestadas con *Pratylenchus* sp. y sembradas en 1990 con cafetos cv Caturra con o sin injerto y con y sin tratamiento nematocida: A: Porcentaje de mortalidad de plantas, B: Producción promedio.

b) Gestión de la fertilidad

Toda práctica cultural con el fin de mejorar la nutrición o disminuir el estrés de los cafetos permite disminuir el impacto de los nematodos por tolerancia inducida. Sin desarrollar este tema que es tratado en detalle en el capítulo 4, citaremos para memoria:

- Los abonos orgánicos. Juegan un papel muy importante al mejorar la estructura y fertilidad y al regular el balance hídrico del suelo. Favorecen igualmente el desarrollo de microorganismos antagonistas de los nematodos. Estas enmiendas son mucho más importantes en América Central, porque los cafetos son frecuentemente cultivados en suelos de origen volcánico (andosoles), pobres en materia orgánica.

Mc. Shorley *et al.* (1995) observaron que la aplicación de enmiendas orgánicas en suelos arenosos de Florida permitía un aumento de la tolerancia en el campo de *Cucurbita pepo* (Calabaza amarilla) e *Hibiscus esculentus* (okra) a *Meloidogyne incognita*. En este estudio la incorporación de compost indujo incluso una baja de la población de *Pratylenchus* spp.

- La gestión de la fertilización mineral desde el semillero, así como la corrección de pH bajos (en particular en los suelos de origen volcánico a menudo ácidos o bien acidificados por los aportes frecuentes y localizados de nitrógeno).
- El uso de sombra que por su acción reguladora de diferentes parámetros agroclimatológicos (luz, temperatura, humedad relativa) permite disminuir los estrés hídricos (Beer *et al.*, 1998) y nutricional de los cafetos y por ende reduce el impacto de los nematodos, en particular en las zonas donde la estación seca es muy marcada. La sombra permite igualmente un aporte continuo no despreciable en materia orgánica con los beneficios antes mencionados.

c) Plantas antagonistas

Existe una gran diversidad de plantas cuya acción nematocida es bien conocida. Este antagonismo puede intervenir de manera directa, por la elaboración de toxinas o de compuestos químicos que inhiben el desarrollo del ciclo biológico de los nematodos, a nivel preinfeccioso (ej: *Crotalaria* spp.) o post-infeccioso (p. ej: *Tagetes* spp., o flor de muerto, y otras numerosas asteráceas). Reducciones importantes de las poblaciones de nematodos han podido observarse en el campo como por ejemplo con *Tagetes* sp. (Hackney *et al.*, 1975). Para pretender la utilización de tales plantas, en una estrategia de manejo integrado contra los nematodos, es importante considerar el hecho de que la mayoría de las mismas presenta un cierto nivel de especificidad de su antagonismo frente a los nematodos. Esta especificidad depende de su propio mecanismo de antagonismo y de la biología del nematodo que se quiere controlar (Caswel *et al.*, 1996).

Puede tener también una acción indirecta de las plantas antagonistas por inducción a nivel de la rizosfera de una flora bacteriana que es supresiva* para algunas poblaciones de nematodos fitoparásitos como se demostró por ejemplo con el "frijol terciopelo" (Kloppet *et al.*, 1996).

Sin embargo, los estudios sobre este tema, aplicados a la caficultura son escasos y el interés de utilizar tales plantas en este marco debe demostrarse (Jaehn, 1981). Su utilización como cobertura del suelo, parece

difícil de instaurar (al menos durante la fase de producción), debido a la frecuencia de los pasos humanos entre filas de cafetos para la aplicación de las diferentes prácticas culturales que requiere este cultivo. Se puede pensar por otro lado que en el caso de parcelas fuertemente infestadas, un saneamiento de los suelos por precultivo de plantas de acción nematicida antes de la replantación de cafetos, permitiría evitar exponer las plantas jóvenes a presiones parasitarias demasiado fuertes.

d) *Micorrizas*

Una práctica poco explotada todavía en el campo del cultivo del café es la utilización de las micorrizas. Estas, después de haber colonizado bien las raíces de las plantas jóvenes, pueden primero tener una acción antagonista (competencia por el espacio) sobre la infestación de las raíces por los nematodos (Mariscal Dardon, 1996; Vaast, 1995 y 1998; Vaast *et al.*, 1998). En segundo lugar, permiten mejorar la nutrición de los cafetos por su acción simbiótica, en particular en condiciones de baja fertilidad (Vaast, 1995) y contribuyen así a inducir una mayor tolerancia de las plantas a los ataques de nematodos (capítulo 4).

3.2.4 *El control biológico*

El control biológico *sensu stricto*, es decir, la utilización de agentes biológicos antagonistas, contra los nematodos fitoparásitos sigue siendo una práctica marginal en agricultura y en particular en caficultura. Mencionemos sin embargo la existencia de formulaciones comerciales de diversos hongos cuya eficacia intrínseca es real, pero cuyo interés de utilización en caficultura debe demostrarse. Se proponen también en el mercado algunos "nematicidas" biológicos basados en quitina. Se puede pensar que a mediano o a largo plazo, el control biológico pueda constituir un componente nada despreciable del manejo integrado de los nematodos.

Bibliografía

- Abrego, L.; Holdeman, Q.L. 1961. Nematodos del café en el Salvador. Instit. Salvadoreño Invest. Café. Bol. Inf. suplemento 8: 1-16.
- Alvarado, J.A. 1935. Tratado de caficultura práctica. Anacafé, Guatemala. 150 p.
- Alvarado, J. 1997. Diagnóstico sobre el parasitismo de los nematodos y cochinillas de la raíz en la zona cafetalera del Suroccidente de Guatemala. Tesis de ingeniero agrónomo. Centro Universitario de Occidente, Quetzaltenango, Universidad de San Carlos. Guatemala. 60 p.

- Anzueto, J. ; Sarah, J.L.; Eskes, A.; Decazy, B. 1991. Recherche de la résistance à *Meloidogyne* sp. dans une collection de *Coffea arabica*. Proceedings of 14th Colloquium of ASIC, San Francisco. Julio, 1991.
- Anzueto, F. 1993. Etude de la résistance du caféier (*Coffea* sp.) à *Meloidogyne* sp. et *Pratylenchus* sp. ENSA, Rennes, Francia. 123 p.
- _____; Bertrand, B. ; Dufour, M. 1995. Desarrollo de una variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos de América Central. Boletín PROME-CAFE, Enero-Junio, IICA, Guatemala. p. 13-15.
- Araya, M. 1994. Distribucion y niveles poblacionales de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. en ocho cantones productores de café en Costa Rica. Agronomia Costarricense 18 (2) : 183-187.
- Ayala, A. 1976. State of knowledge of *Meloidogyne* in Puerto Rico. In Proceedings of the Regional Conference of the International Meloidogyne project. Regional I, Panamá. p. 93-95.
- Bally, W.; Reydon, G.A. 1931. De tegenwoordige stand van het Vraagstuk van de Wortelaatjes in de Koffiecultuur. Archf Voor de Koffiecultuur (Indonesia) 2: 23-216.
- Berge, J.B.; Dalmasso, A. 1975. Caractéristiques biochimiques de quelques populations de *Meloidogyne hapla* et *Meloidogyne* sp. Cah. ORSTOM sér. Biol. 10: 263-271.
- Bertrand, B. ; Anzueto, F. ; Peña, M. ; Eskes, A.B. 1995. Genetic improvement of coffee for the resistance to root-knot nematodes *Meloidogyne* sp. in América Central. Congreso Internacional sobre el Café. Mayo de 1995, Kyoto, Japón. ASIC (publishers), Paris, Francia. 630-636.
- _____; Aguilar, G. ; Santacreo, R. ; Anthony, F. ; Etienne, H.; Eskes, A.B.; Charrier, A. 1997a. Comportement d'hybrides F1 de *Coffea arabica* pour la vigueur, la production et la fertilité en Amérique Centrale. ASIC, 17^ocoll., Nairobi, Kenia. p. 415-423.
- _____; Aguilar, G.; Bompard, E.; Rafinon, A.; Anthony, F. 1997b. Comportamiento agronómico y resistencia a las principales enfermedades y plagas de líneas de Sarchimores y Catimores en Costa Rica. Plantations recherche, développement 4 (4) : 312-321.
- _____; Cilas, C. ; Herve, G.; Anthony, F.; Etienne, H.; Villain, L. 1998a. Relations entre les populations de deux espèces de nématodes, *Meloidogyne exigua* et *Pratylenchus* sp., dans les racines de *Coffea arabica* au Costa Rica. Plantations, Recherche, Développement 5(4).
- _____; Borbon, O.; Aguilar, G. 1998b. Situación nematológica en un cafetal de la meseta central de Costa Rica y posibilidades de control. In Memoria del III seminario resultados y avances de investigación 1997. ICAFE, San José, C.R. ISBN 9977-55-020-4. p. 15-28.
- Bridge, J. 1984. Coffee nematode survey of Tanzania. Report on Visit to Examine Plant Parasitic nematodes of Coffee in Tanzania, February/March 1984. Commonwealth Institute of Parasitology. 22 p.

- Bridge, J.; Fogain, R.; Speijer, P. 1997. Parasites et ravageurs des *Musa*: fiche technique n°2. Les nématodes parasites des bananiers. *P. coffeae* (Zimmermann, 1898) Filip. & Schu. Stek., 1941; *P. goodeyi* Sher & Allen, 1953. INIBAP, Parc Scientifique Agropolis II, Montpellier, Francia. 4 p.
- Calderón-Vega, M. 1989. Reacción de diferentes genotipos de café a *Meloidogyne arabicida* Lopez y Salazar, gama de hospedantes y hongos fitopatogenos asociados. Tesis M. Sc., Universidad de Costa Rica/CATIE. Turrialba, C.R. 62 p.
- Campos, V.P.; Sivapalan, P.; Gnanapragasam, N.C. 1990. Nematode parasites of coffee, cocoa and tea. In Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. Ed. por M. Luc, R.A. Sikora y J. Bridge. Wallingford, Reino Unido, C.A.B. International. p. 387-430
- _____; Lima, R.D. 1986. Nematoides parasitas do cafeeiro. In Cultura do cafeeiro, fatores que afetam a produtividade. Ed. por Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. Associação para Pesquisas da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, Brasil. p. 379-389.
- Carneiro, R.M.D.G. et al. 1996. *Meloidogyne paranaensis* n. sp. (Nematoda: Meloidogynidae) a root-knot nematode parasitizing coffee in Brazil. Journal of Nematology 28(2): 177-189.
- Castillo Ponce, G. 1996. Manejo integrado de la corchosis en Veracruz, México. 17 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana, San Salvador, El Salvador, 23 al 27 de octubre, 1995: Memoria Volumen 2. 9 p.
- Caswell-Chen, E.P.; Sharma, B. 1996. Ecology and use of nematode-antagonistic plants. Abstracts from the Third International Nematology Congress. Gosier, Guadeloupe, 7-12 julio, 1996. Nematropica 26 (3):197-198.
- Chitwood, B.G.; Berger, C. 1960. Nemic parasites of coffee in Guatemala. (Abst.) Phytopathology 50 : 631.
- Cilas, C.; Villain, L.; Licardie, D. 1993. Etude de la distribution de *Pratylenchus* sp. Dans une plantation de caféiers au Guatemala. In Proceedings XVI Colloque Scientifique International sur le Café, Montpellier, Francia. 1993/06/6-11. p. 843-847.
- Corbetti, D.C.M.; Clark, S.A. 1983. Surface features in the taxonomy of *Pratylenchus* species. Revue Nématol. 6: 21-43.
- Dalmasso, A.; Berge, J.C. 1978. Molecular polymorphism and phylogenetic relationship in some *Meloidogyne* spp: application to the taxonomy of *Meloidogyne*. Journal of Nematology 10(4): 323-332.
- _____; Castagnone-Sereno, P.; Abad, P. 1992. Seminar: Tolerance and resistance of plants to nematodes -knowledge, needs and prospects. Nematologica 38: 466-472.
- D'Antonio, A.M.; Libeck, P.R.; Coelho, A.J.E.; Paula, V. de. 1980. Levantamento de nematóides parasitas do cafeeiro que ocorrem no sul de Minas Gerais. In Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, campos do Jordão. Rio de Janeiro, IBC/GERCA: 440.
- De Guiran, G.; Netscher, C. 1970. Les nématodes du genre *Meloidogyne* parasites des cultures tropicales. Cah. ORSTOM, Sér. Biol. (11): 151-185.

- De Guiran, G.; Netscher, C.; Ritter, M. 1979. Life cycle of *Meloidogyne* species and factors influencing their development. In Lambert, F.; Taylor, C.E. (eds). Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). Systematics, biology and Control. acad. Press. London. p. 173-191.
- Eisenback, J.D.; Bernard, E.C.; Schmitt, D.P. 1994. Description of the kona coffee root-knot nematode, *Meloidogyne konaensis* n. sp. Journal of Nematology 26(4): 363-374.
- Esbenshade, P.R.; Triantaphyllou, A.C. 1985. Use of enzyme phenotypes for identification of *Meloidogyne* species. Journal of Nematology 17(1): 6-20.
- Fargette, M. 1987. Use of the esterase phenotypes in the taxonomy of the genus *Meloidogyne*. I-Stability of the esterase phenotype. Revue Nematol. 10(1): 39-43.
- Fazuoli, L.C. 1986. Genética e melhoramento do cafeeiro. In Cultura do cafeeiro, fatores que afetam a produtividade. Ed. por Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. Associação para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, Brasil. p. 87-113.
- Figuerola, A.; Perlazo, F. 1982. Investigación sobre *Meloidogyne* en Costa Rica. In Proceedings of the Third Research & Planning Conference on Root-Knot Nematodes, *Meloidogyne* spp. January 11-15, region I. p. 12-25.
- Flores, J.M.; Yopez, G. 1969. *Meloidogyne* in coffee in Venezuela. In Nematodes of Tropical Crops. Ed. por Peachey, J.E. Technical communication no. 40. Commonwealth Bureaux of Helminthology. St Albans, Herts. England. p. 251-256.
- García, P. 1995. Distribucion y niveles poblacionales de fitonematodos de importancia economica asociados al café. In XVI Simposio sobre Caficultura Latinoamericana. Managua, Nicaragua. 25-29 de octubre, 1993.
- Golden, A.M.; López, C.R.; Vilchez, R.H. 1992. Description of *Pratylenchus gutierrezii* n.sp. (Nematoda: Pratylenchidae) from coffee in Costa Rica. Journal of Nematology 24(2): 298-304.
- Gonçalves, W. 1992. Melhoramento do cafeeiro visando resistência a nematóides. In Informe Agropecuario, EPAMIG, Minas Gerais, Brasil. 16: 66-72.
- _____; Ferraz, L.C.C.B. 1987. Resistência do cafeeiro a nematóides. In Informe Agropecuario. EPAMIG, Minas Gerais, Brasil. 16 (172): 66-72.
- _____; Thomaziello, R.A.; Moraes, M.V.; Fernandez, J.A.E.; Costa, A.M.; Corsi, T.; Jungueira, C.A.; Lacerda, L.A.O. 1978. Estimativas de danos ocasionados pelos nematoides do cafeeiro. In 6 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeiras de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, IBC/GERCA. p. 182-186.
- Gutiérrez, G.; Jiménez, Q.M.F. 1970. Algunas observaciones sobre la injertación practicada en café en Guatemala y El Salvador como medio para el control de nematodos. Revista Cafetalera (Guatemala) 98: 35-47.
- Hackney, R.W.; Dickerson, O.J. 1975. Marigold, castor bean and *Chrysanthemum* as controls of *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus alleni*. Journal of Nematology 7(1): 84-90.

- Handoo, Z.A.; Golden, A.M. 1989. A key and diagnostic compendium to the species of the genus *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (lesion nematodes). *Journal of Nematology* 21(2): 202-218.
- Hernández, A.; Fargette, M.; Sarah, J.L.; Decazy, B.; Eskes, A.; Molinier, V.; Boisseau, M. 1995. Caractérisation biochimique, biologique et morphologique de différentes populations de *Meloidogyne* spp. parasites du café en Amérique Centrale. Résumés du 10e colloque de l'ASIC, Kyoto, Japon, 9-14 abril, 1995.
- _____; Fargette, M.; Molinier, V.; Ramenason, H.; Decazy, B.; Sarah, J.L. 1996. Enzymatic characterization and reproductive fitness on coffee of root-knot nematode populations from Central America. *Proceedings of Third International Nematology Congress*. Gosier, Guadeloupe, 7-12 julio, 1996.
- Herve, G. 1997. Caractérisation biologique et moléculaire de populations de nématodes phytoparasites dans les plantations de caféiers d'Amérique centrale. D.E.A de génétique adaptation et productions végétales. ENSA Rennes, Francia. 36 p.
- Insera, R.N.; Duncan, L.W.; Vovas, N.; Loof, P.A.A. 1991. *Pratylenchus loosi* from pasture grasses in central Florida. *Nematologica* 42: 159-172.
- Jaehn, A. 1981. Recuperação de lavoura cafeeira recepada com utilização de *Crotalaria spectabilis*, torta de mamona e nematicidas em area infestado por *Meloidogyne incognita*. In *Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*. 8; 1980/11/25-28; Campos do Jordão, São Paulo, IBC/GERCA; Rio de Janeiro (Bra.). p. 131-133.
- Janati, A. *et al.* 1982. Nouvelles données sur l'utilisation des isoestérases pour l'identification des *Meloidogyne*. *Revue Nématol.* 5(1): 147-154.
- Kermarrec, A.; La Massese, C.S. 1972. New contributions to the study of the nematode fauna in the french west indies. *Nematologica* 2(2): 41-43.
- Kloepper, J.W.; Rodríguez-Kaban, R.; Kokalis-Burelle, N. 1996. A review of antagonistic plants as modifiers of rhizosphere bacteria. *Proceedings of Third International Nematology Congress*. Gosier, Guadeloupe, 7-12 julio, 1996. *Nematologica* 26(3): 211.
- Krusberg, L.R.; Hirschmann, H. 1958. A survey of plant parasitic nematodes in Peru. *Plant Disease Reporter* 42(5): 599-608.
- Kumar, A.C.; Kasi Viswanathan, P.R. 1972. Studies of physiological races of *Pratylenchus coffeae*. *J. Coffee Res.* 2(2): 10-15.
- Loof, P.A.A. 1991. The family Pratylenchidae Thorne, 1949. In *Manual of agricultural nematology*. Ed. por Nickel, W.R. New York: Dekker, M. p. 363-421.
- López, R.; Salazar, L. 1989. *Meloidogyne arabicida* sp. n (Nemata: Heteroderidae) nativo de Costa Rica: un nuevo y severo patógeno del cafeto. *Turrialba (C.R.)* 39(3): 313-323.
- Lordello, L.G. 1977. *Nematóides das plantas cultivadas*. 4^e edição. Livraria Nobel S.A. 197 p.
- _____; Mello Filho, A.T. 1969. O capimpangola difunde nematóides. *Revista de Agricultura (Piracicaba, Brasil)* 44:122.

- Luc, M. 1987. A reappraisal of Tylenchina (Nemata). 7. The family Pratylenchidae Thorne, 1949. *Révue Nématol.* 10(2): 203-218.
- _____. ; Hunt, D.J. ; Machon, J.E. 1990. Morphology, anatomy and biology of plant parasitic nematodes - a synopsis. In *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Ed. por M. Luc ; R.A. Sikora y J. Bridge. Wallingford, Reino Unido, C.A.B. International. p. 28-29.
- Mariscal-Dardon, J.E. 1996. Evaluación del efecto de las micorrizas en almacigos de café *Coffea arabica*, Finca Buena Vista, San Sebastián, Retalhuleu. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. Guatemala, Gua. 65 p.
- McSorley, R.; Gallaher, R.N. 1995. Cultural practices improve crop tolerance to nematodes. *Nematropica* 25 (1): 53-60.
- Monteiro, A.R.; Lordello, L.G.E. 1974. Encontro do nematóide *Pratylenchus coffeae* atacando cafeeiro em São Paulo. *Revista de Agricultura* (Piracicaba, Bra.) 49:164.
- Negron, J.A.; Acosta, N. 1989. The *Fusarium oxysporum* f. sp. *Coffeae-Meloidogyne incognita* Complex in Bourbon Coffee. *Nematropica* 19:161-168.
- Palanichamy, L. 1973. Nematode problem of coffee in India. *Indian Coffee* 37: 99-100.
- Peña González, M.X. 1994. Evaluación fenotípica y genotípica para la resistencia al nematodo *Meloidogyne incognita* en híbridos de *Coffea canephora*. Tesis de maestría, CATIE, Costa Rica. 78 p.
- Pinochet, J.; Fernández, D.; Esmenjaud, D.; Doucet, M. 1993. Effects of six *Pratylenchus vulnus* isolates on the growth of peach-almond hybrid and apple rootstocks. *Journal of Nematology* 25(4): 813-848.
- Powell, N.T. 1971. Interactions between nematodes and fungi in disease complexes. *Annual Review of Phytopathology* 9: 253-274.
- Reyna, E.H. 1968. La técnica de injerto hipocotiledonar del cafeto para el control de nematodos. *Café* (Lima, Perú) 7(1):5-11.
- Roman, J.; Triantaphyllou, A.C. 1969. Gametogenesis and Reproduction of Seven Species of *Pratylenchus*. *J. Nematol.* 1: 357-362
- Rosales-Mercado, J.A.; Reyes-García, M.A. 1995. Estudio de dinámica poblacional de nematodos en dos zonas cafetaleras de las regiones III y IV de Nicaragua. In *XIV Simposio sobre Caficultura Latinoamericana*. Panamá, Pan. 20-24 de mayo, 1991.
- Salas, L.A.; Echandi, E. 1961. Parasitic nematodes in coffee plantations of Costa Rica. *Coffee* 3: 6-9.
- Sampedro, J.; Pérez, J. ; Fowler, V. ; Gandarilla, H. ; Acosta, O. ; Lorezo, E. ; Baterrechea, M. ; García, I. ; O'Connors, B. ; Fernández, E. ; García, O. 1986. Parasitic nematodes associated with coffee crops. *Revue de Nématologie* 9 (3): 308.
- Sarah, J.L. 1991. Estimation of nematode infestation in banana. *Fruits* 46(6): 643-646.
- Sasser, J.N. 1979. Economic importance of *Meloidogyne* in tropical countries. In *Root-knot nematodes (Meloidogyne species), systematics biology and control*. Ed. por Lamberti, F.; Taylor, C.E. Academic Press, Londres. p. 257-268.

- Schenck, S.; Holtzmann, O.V. 1990. Evaluation of potential problems in a changing agricultural system :nematode control in hawaiian crops. *Plant Disease* 74 (11): 837-843.
- Schieber, E.; Sosa, O. 1960. Nematodes on coffee in Guatemala. *Plant Disease Reporter* 44: 722-723.
- _____.; Grullon, L. 1969. El problema de nematodos que atacan el café (*Coffea arabica* L.) en la Republica Dominicana. *Turrialba (C.R.)* 19: 513-517.
- Sequeira-Bustamanete, F.; Schuppener, H.; Cuarezma, J.; Zepeda-Arana, P. 1979. Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en Nicaragua. *Nematropica* 9(2): 97.
- Siddiqi, M.R.; Dabur, K.R.; Bajaj, H.K. 1991. Descriptions of three new species of *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (Nematoda: Pratylenchidae). *Nematol. mediterr.* 19: 1-7.
- Tarjan, A.C. 1971 Some interesting associations of parasitic nematodes with cacao and coffee in Costa Rica. *Nematropica* 1(1): 5.
- Toruan-Mathius, N.; Pancoro, A.; Dudarmadji, D.; Mawardi, S.; Hutabarat, T. 1995. Root characteristics and molecular polymorphisms associated with resistance to *Pratylenchus coffeae* in robusta coffee. *Menara Perkebunan* 6(2): 43-51.
- Vaast, P. 1995. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza and nematodes on growth and nutrition of coffee. Tesis, University of California, Davis.
- _____. 1998. Intérêt de la micorhization du caféier Arabica pour la lutte contre les nématodes (*Pratylenchus coffeae* et *Meloidogyne konaensis*). In *Proceedings of 17th Colloquium of ASIC, Nairobi, Kenya, julio 20-25, 1997.*
- _____. Caswell-Chen, E.P.; Zasoski, R.J. 1998. Influences of a root-lesion nematode, *Pratylenchus coffeae*, and two arbuscular mycorrhizal fungi, *Acaulospora mellica* and *Glomus clarum* on coffee (*Coffea arabica* L.). *Biol. Fertil. Soils* 26: 130-135.
- Villain, L. 1991. Dynamique de populations de *Pratylenchus* sp. sur café dans le sud ouest du Guatemala. In *Proc. XIV Colloque Scientifique International sur le Café. San Francisco, California, EE.UU., 1991/06.*
- _____.; Sarah, J.L.; Decazy, A.; Molina, A.; Sierra, S. 1996. Evaluation of grafting on *Coffea canephora* var. Robusta, and chemical treatment for control of *Pratylenchus* sp. in *C. arabica* cropping systems. *Proceedings of Third International Nematology Congress. Gosier, Guadeloupe, 7-12 julio, 1996.*
- _____.; Baujard, P.; Molina, A.; Pignolet, L.; Sarah, J.L. 1998. Morphological and biological characterization of three *Pratylenchus* spp. populations parasitising coffee trees in Guatemala. *24th European Society of Nematologists, International Symposium. Dundee, Escocia, 4-9 agosto, 1998.*
- Whitehead, A.G. 1968. Nematodea. In *Pests of coffee. Ed. por Le Pelley, R.H. Longmans, Green and Co. Ltd., Londres. p. 407-422.*
- _____. 1969. Nematodes attacking coffee, tea and cocoa and their control. In *Nematodes of tropical crops. Ed. por Peachey, J.E. Technical communication no. 40. Commonwealth Bureaux of Helminthology. St. Albans, Herts, Inglaterra. p. 238-250.*
- Yang, B. ; Eisenback, J.D. 1983. *Meloidogyne enterolibii* n.sp. (Meloidogynidae), a root-knot nematode parasitizing Pacara Earpod Tree in China. *Journal of Nematology* 15(3): 381-391.

Glosario

AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism)	Método de análisis del genoma por amplificación de fragmentos de restricción.
Anfimixia	Reproducción sexual con contribución mutua de genes por parte de ambos sexos a través de los gametos (óvulos y espermatozoides).
Apomixia	Partenogénesis mitótica. En este tipo de partenogénesis, no hay posibilidad de recombinación de cromosomas.
Isoenzima (Isozima)	Una de varias formas de enzimas, producida por diferentes loci (sitios en el cromosoma ocupado por un gen específico) no alelicos del genoma de un organismo.
Nematofauna	Conjunto de todos los nematodos que pertenecen a diversas especies, presentes en un sitio geográfico mas o menos definido.
Partenogénesis	Desarrollo a partir de huevos que no tuvieron ninguna contribución paterna de genes (o sea sin fecundación). Generalmente, dentro de las especies con posibilidad de reproducción partenogenética, los machos son escasos o ausentes.
Patótipo	Población dada de nematodos a la cual se le identificó cierta patogenicidad.
PCR (Polymerase Chain Reaction)	Método de amplificación in vitro del ADN para permitir de analizar el genoma.
RAPD (Random Amplification Polymorphic DNA)	Método de análisis del genoma basado en la utilización de sondas aleatorias.
Supresivo	Se dice de un medio cuando es inepto o desfavorable para el desarrollo de ciertos organismos.

CAPÍTULO 11

LOS RECURSOS GENÉTICOS: LAS BASES DE UNA SOLUCIÓN GENÉTICA A LOS PROBLEMAS DE LA CAFICULTURA LATINOAMERICANA

*François Anthony**, IRD**/CATIE/IICA-PROMECAFE
Carlos Astorga, CATIE
Julien Berthaud, ORSTOM

1 *Introducción*

Por definición, los recursos genéticos de una planta cultivada corresponden a la totalidad de las plantas con las que ella puede intercambiar *genes. Para el café Arábica (*Coffea arabica* L.), los recursos genéticos incluyen unas cien especies descritas en el género *Coffea* y las especies menos conocidas del género *Psilanthus*. Todas estas especies poseen un *genoma de base común que permite la obtención de híbridos. Presentan también la placentación característica del café, descrita por los botánicos, que se reconoce por la presencia de una fisura, más o menos invaginada en la parte ventral del albumen de las semillas.

Hasta ahora, los programas de mejoramiento genético del café han utilizado solamente una parte infinitesimal de la inmensa reserva de *genes que está constituida por el conjunto de recursos genéticos disponibles en

* CATIE, 7170. Turrialba, Costa Rica. Fax: (506) 556-1533. Correo electrónico: fanthony@catie.ac.cr

** Ex ORSTOM.

Nota: Las palabras y frases antes de las cuales aparece un asterisco (*) se definen en el glosario situado al final del capítulo.

las colecciones. En América Latina, los fitomejoradores han explotado una base genética limitada, introducida en el siglo XVIII, y desde los años 70, la resistencia a la roya anaranjada, obtenida de un híbrido interespecífico natural, el Híbrido de Timor (*C. arabica* x *C. canephora*), el cual la heredó de su ancestro *C. canephora* (capítulo 12). Esta subutilización de los recursos genéticos se explica por el hecho de que las recolecciones de café silvestres fueron emprendidas recientemente, durante la segunda mitad del siglo XX. De ello resulta una falta de información sobre las características interesantes para el mejoramiento y la organización de la diversidad genética.

Este capítulo presenta la diversidad genética disponible para el mejoramiento genético de las variedades cultivadas en América Central. Comienza con una evocación sobre la historia del inicio del cultivo del café en el mundo, particularmente en América Latina. Propone luego un balance de los recursos genéticos recolectados y hace el balance sobre los principales resultados adquiridos con su evaluación. Finalmente, termina con un análisis crítico de las investigaciones en proceso, que tienen como finalidad el mejoramiento de las variedades centroamericanas.

2 Los Cafés a la Conquista del Mundo

El cultivo del café *Arábica* comenzó en Etiopía, su lugar de origen, donde se encuentra en estado silvestre. La fecha de este acontecimiento es incierta y podría ser a comienzos del siglo VIII. El cultivo se mantuvo como un monopolio de los Arabes en las cercanías del Mar Rojo, hasta el siglo XV, con una fuerte expansión en Arabia del Sur (lo que hoy es Yemen) en el siglo XIV, y en Oriente Medio durante el siglo siguiente. Los intereses comerciales ligados al auge de la bebida fueron luego el origen del robo de plantas o de semillas.

2.1 El café arábica hacia Asia y Europa

El primer robo de café conocido fue obra de un peregrino hindú a comienzos del siglo XVII, quien introdujo algunas semillas en el sur de la India. Sin embargo, el cultivo se mantuvo esporádico hasta la llegada de los Ingleses, a finales del siglo XVIII (Perrard, 1993).

La introducción del café en Europa fue objeto de varias versiones que difieren sobre las condiciones de la salida de las plantas de Arabia por parte de Holandeses, a finales del siglo XVII, y sobre las etapas de su viaje hasta Holanda. Sin embargo, todas mencionan que el primer traslado se efectuó de Java al jardín botánico de Amsterdam, hacia 1706, y fue de una sola planta. Este individuo jugó un papel excepcional en la historia de la creación varietal puesto que fue el origen de la mayoría de las variedades cultivadas en el mundo (Chevalier y Dagron, 1928; Carvalho, 1946). A comienzos del siglo XVIII, el cultivo del café se propagó rápidamente en Indonesia y luego en las Filipinas. Es probable que otros cafés llegaran luego a Amsterdam con las primeras cosechas.

En 1714, después de la firma del tratado de paz de Utrecht entre Holanda y Francia, el burgomaestre de Amsterdam decidió ofrecer una planta pequeña de café al rey Luis XIV. La planta prosperó en el invernadero del Jardín de plantas de París, y produjo rápidamente semillas (Chevalier y Dagron, 1928). En 1715, Francia recibió algunas plantas de parte del sultán de Yemen, que fueron enviadas a la isla de Borbón (que actualmente es la isla de la Reunión) (Perrard, 1993).

2.2 El café arábica en el continente americano

Las primeras introducciones hacia el continente americano datan de comienzos del siglo XVIII. Unas plantas fueron enviadas desde Amsterdam a la Guyana Holandesa (hoy día Surinam), y de París a la isla de Martinica en las Antillas. El cultivo se extendió rápidamente en la Guyana Francesa en 1719, a partir de la Guyana Holandesa vecina, luego a Brasil en 1727. Aparentemente las semillas producidas en gran cantidad en la Guyana Francesa dieron origen al desarrollo del cultivo en Martinica (Chevalier y Dagron, 1928). Los ingleses introdujeron cafetos en Jamaica en 1730. A finales del siglo XVIII, el cultivo se extendió al Caribe (Cuba, Puerto Rico, Santo Domingo,...), México y Colombia.

Cafés de la isla Borbón fueron introducidos en Brasil entre 1860 y 1870. Semillas de otros cafés, emparentados a los de la isla Borbón e identificados como "café de Sumatra", llegaron a Brasil en 1896, a través de Londres (Krug *et al.*, 1939). Estas introducciones permitieron la selección de nuevas variedades (capítulo 12).

En definitiva, los cafés de Yemen dieron origen a dos tipos de Arábica: *C. arabica* var. *arabica*, conocido con Arábigo, *Typica* o *Típica*, que constituyó la base genética de las primeras variedades cultivadas en América

y en Asia, y *C. arabica* var *bourbon* que se difundió a partir de la isla Borbón (Krug *et al.*, 1939; Carvalho *et al.*, 1969). Todas las variedades cultivadas en América Latina hasta mediados del siglo XX compartieron entonces la base genética del primer café (Típica) que fue cultivado con éxito en el Jardín botánico de Amsterdam.

2.3 Las otras especies cultivadas

En 1834, solamente se conocían cuatro especies de café, pero un siglo más tarde, después de la colonización de los países del Golfo de Guinea, eran más de cincuenta (Chevalier, 1929). Intentos de cultivar nuevas especies fueron motivados por los estragos provocados por las enfermedades como la roya anaranjada (*Hemileia vastatrix*) y los devastadores como los gusanos blancos del tronco (*Xylotrechus quadripes*) y la broca (*Hypothenemus hampei*), cuya rápida expansión durante la segunda mitad del siglo XIX había hecho que la caficultura fuera aleatoria en algunos países (Ceilán, Indonesia, Isla Reunión,...). Solamente dos especies fueron recomendadas como sustitutos de *C. arabica*: *C. canephora* (café Robusta) en gran escala en Java, África Tropical y Madagascar; y *C. liberica* var. *dewevrei* (café Excelsa) en pequeña escala en Java, Indochina y África Tropical (Chevalier, 1947). Desgraciadamente, las plantaciones africanas fueron devastadas por una epidemia de traqueomicosis (*Fusarium xylarioides*) entre 1930 y 1950, y únicamente algunos orígenes de *C. canephora* manifestaron caracteres de resistencia (Charrier y Berthaud, 1988).

Otra especie de café, como *C. racemosa* se cultiva aún hoy en Mozambique, para consumo local (Rodríguez Jr. *et al.*, 1975). El café, conocido como "café de Inhambane" sería semejante al café de la variedad Moka, famosa por su buena calidad (Chevalier, 1947).

3 Las Bases de una Solución Genética

Proponer una solución genética a algunos problemas de la caficultura consiste en explotar la diversidad genética disponible en la naturaleza para transferir nuevas potencialidades a las variedades cultivadas. Tal solución depende de los recursos naturales disponibles y de los conocimientos sobre los caracteres útiles y sobre las modalidades de su transferencia.

3.1 Los recursos genéticos conservados en colección

Con excepción de algunas especies del género *Psilanthus* originarias de Asia y de Oceanía, los cafés se encuentran en estado silvestre en los bosques de la zona intertropical de África y de la región malgache. Se presentan en forma de árboles o de arbustos, a veces como matorral, y forman poblaciones silvestres más o menos densas dependiendo de las especies. Más de una centena de especies de café ha sido descrita por los botánicos (Lebrun, 1941; Chevalier, 1947; Bridson y Verdcourt, 1988; Stoffelen, 1998), lo cual indica una gran diversificación en respuesta a la evolución de los medios forestales naturales.

3.1.1 Las recolecciones de cafés silvestres

La especie *C. arabica* ha sido recolectada en Etiopía o en Kenia, en su centro de origen, y en Yemen, que es considerado como centro secundario de origen (Cuadro 11-1). Como para todas las recolecciones de plantas cultivadas, conviene distinguir los individuos silvestres sacados del bosque, los individuos semi-silvestres que han sido sacados de su medio natural para ser cultivados y los individuos seleccionados en las plantaciones. La mayoría del material recolectado en Etiopía por la FAO en 1964 y 1965 (FAO, 1968), luego por el ORSTOM (hoy IRD) en 1966 (Guillaumet y Hallé, 1978) fue sacado de plantaciones de tipo familiar o industrial. Algunos orígenes etíopes corresponden a cosechas en el bosque. En Kenia, aproximadamente 80 cafés fueron recolectados en una población natural del Monte Marsabit (Berthaud *et al.*, 1980; Anthony *et al.*, 1987). Finalmente en Yemen, donde el café fue introducido por el hombre aparentemente en el siglo XIV, las recolecciones se efectuaron en plantaciones donde los investigadores describieron seis morfotipos (Eskes, 1989).

Cuadro 11-1. Principales recolecciones de *C. arabica*.

País	Fecha	Instituciones	Número de orígenes	Referencias
Etiopía	1964-65	FAO	621	FAO (1968)
Etiopía	1966	ORSTOM	70	Guillaumet y Hallé (1978)
Kenia	1977	ORSTOM, CIRAD	1	Berthaud <i>et al.</i> (1980) Anthony <i>et al.</i> (1987)
Yemén	1989	IPGRI, CIRAD	22	Eskes (1989)

Además de estas tres prospecciones principales, otras misiones de recolección tuvieron lugar en el centro de origen de *C. arabica*, para encontrar nuevos candidatos para la selección (ver síntesis de van der Vossen, 1985). Dos prospecciones se distinguen por el gran impacto que tuvo el material recolectado en la caficultura: la de Jones (1956) en Etiopía, que dio origen a las variedades Dalle, Dilla y Gimma, y la de Thomas (1942) en el sureste de Sudán, que permitió el descubrimiento de variedades tales como Rume Sudán y Barbuk Sudán.

La recolección de otras especies de café estuvo motivada por la destrucción rápida de los ecosistemas forestales africanos y malgaches. Se visitaron ocho países de 1960 a 1987 (Cuadro 11-2). El balance de estas prospecciones es impresionante, cuantitativamente y cualitativamente: aproximadamente 20 000 cafés silvestres, que representan más de 70 especies, fueron recolectados y 300 poblaciones silvestres fueron localizadas (Anthony, 1992). El descubrimiento reciente de unas diez nuevas especies en África Central muestra que el inventario de los recursos genéticos del café no ha concluido (Anthony *et al.*, en prensa 1). Por otro parte, algunas especies ya han desaparecido o están amenazadas a corto plazo por la deforestación: por ejemplo, *C. togoensis*, endémico de Gana y Togo; y *C. mongensis*, de los Montes Usambara en Tanzania.

3.1.2 Las principales colecciones

El material recolectado en Etiopía ha sido ampliamente propagado en todo el mundo. Existen diez colecciones importantes para la especie *C. arabica* (figura 11-1): cinco en África (Etiopía, Kenia, Tanzania, Camerún, Costa de Marfil), una en Madagascar, una en Asia (India) y tres en el continente americano (Costa Rica, Colombia, Brasil). Con excepción de la especie *C. canephora*, representada en cuatro colecciones importantes (Costa de Marfil, Camerún, Madagascar e India), los otros recursos genéticos han tenido una difusión muy restringida, limitada a algunos individuos. Estos otros recursos se conservan en dos colecciones únicas en Madagascar para las especies endémicas de la región malgache (aproximadamente 50 especies) y en Costa de Marfil para las otras especies africanas (aproximadamente 30 especies).

América Central dispone de la colección del CATIE, con más de 1700 introducciones. Ahí se conservan:

- los individuos silvestres y semi-silvestres de las recolecciones de *C. arabica* efectuadas en Etiopía,
- numerosas variedades y mutantes, provenientes de la base genética introducida en el siglo XVIII,

Cuadro 11-2. Principales recolecciones de cafetos diploides.

País	Fecha	Instituciones	Especies	Referencias
Región malgache	1960-74	Museo de Paris, CIRAD, IRD	50 especies de <i>Mascarocoffea</i>	Leroy (1962, 1963, 1972a, 1972b)
Costa de Marfil	1975-87	IRD, CIRAD	<i>C. canephora</i> , <i>C. humilis</i> , <i>C. liberica</i> , <i>C. stenophylla</i> , <i>Psilanthus</i> spp.	Berthaud (1983, 1986) Le Pierrès et al. (1989)
África Central	1975	IRD, CIRAD	<i>C. canephora</i> , <i>C. congensis</i> , <i>C. liberica</i>	Berthaud y Guillaumet (1978)
Kenia	1977	IRD, CIRAD	<i>C. eugenioides</i> , <i>C. fadenii</i> , <i>C. pseudozanguebariae</i> , <i>C. sessiliflora</i>	Berthaud et al. (1980) Anthony et al. (1987)
Tanzania	1982	IRD, CIRAD	<i>C. costatifructa</i> , <i>C. mufindiensis</i> , <i>C. pseudozanguebariae</i> , <i>C. sessiliflora</i>	Berthaud et al. (1983) Anthony et al. (1987)
Camerún	1983 1985 1987	IPGRI, IRD, CIRAD	<i>C. brevipes</i> , <i>C. canephora</i> , <i>C. congensis</i> , <i>C. liberica</i> , 4 especies <i>Coffea</i> spp., <i>Psilanthus</i> spp.	Anthony et al. (1985)
Congo		IPGRI, IRD, CIRAD	<i>C. canephora</i> , <i>C. congensis</i> , <i>C. liberica</i> , 5 especies <i>Coffea</i> spp., <i>Psilanthus</i> spp.	de Namur et al. (1987)
Guinea		UE, IRD, CIRAD	<i>C. canephora</i> , <i>C. humilis</i> , <i>C. liberica</i> , <i>C. stenophylla</i> , <i>Psilanthus</i> spp.	Le Pierrès et al. (1989)

- líneas puras *introgradadas por *C. canephora*, seleccionadas por su resistencia a la roya,
- algunos representantes de otras especies (*C. canephora* y *C. liberica* principalmente).

Esta colección contiene entonces casi la totalidad de la diversidad genética de la especie *C. arabica*. Sin embargo, como la mayoría de las colecciones existentes en el mundo, solamente posee una representación

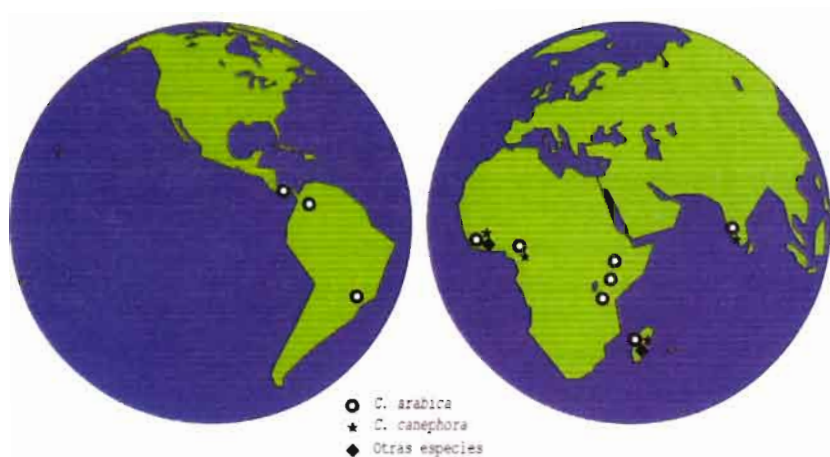


Figura 11-1. Principales colecciones de cafés en el campo (adaptado de Charrier y Berthaud, 1985).

muy reducida de las otras especies de café. Además, el modo de conservación en el campo no permite garantizar la preservación de estos recursos a largo plazo. En efecto, el material sufre una erosión genética debido a las presiones de selección ejercidas por el medio ambiente (clima, suelo, parásitos, enfermedades y otros). Otros modos de conservación, basados en los métodos de la biotecnología, deberían ser utilizados en complemento a la preservación en colecciones de campo (capítulo 13 y la síntesis de Dussert *et al.*, 1997).

3.1.3 La diversidad genética disponible para el mejoramiento genético

La diversidad genética disponible para el mejoramiento se evalúa a dos niveles: el *genotipo, gracias a los marcadores moleculares, y el *fenotipo, a través de observaciones morfológicas. Por contraste con los marcadores morfológicos, los marcadores moleculares son *fenotípicamente neutros y presentan un importante *polimorfismo (Tanksley, 1993). Además, su expresión no depende del medio ambiente y no varía con la edad de los individuos.

Para los cafetaleros, las observaciones en el campo han sido, por mucho tiempo, el único método de estudio de la diversidad genética. El IPGRI (1996) desarrolló una lista de descriptores con el objetivo de homogenizar los datos y facilitar su utilización. La evaluación *genotípica comenzó en los años 70 con la revelación de los marcadores enzimáticos por electroforesis (Berthou y Trouslot, 1977). Recientemente se ha orientado a la utilización de marcadores moleculares del ADN.

3.1.4 La diversidad genética disponible en *C. arabica*

Los cafés Arábica poseen un modo de reproducción *autógama preferencial, entre 85 y 95%, dependiendo de los autores. Este modo de reproducción tiende a homogeneizar las estructuras genéticas, particularmente en las líneas reproducidas por autofecundación.

a) Los individuos silvestres

El material, recolectado durante la misión ORSTOM (hoy IRD) en Etiopía, fue objeto de una evaluación *fenotípica multilocal (ver la síntesis dirigida por Charrier, 1978). Los caracteres observados, de naturaleza morfológica y agronómica, pusieron en evidencia la presencia de una *heterocigosis residual relativamente importante en sus orígenes. En estos individuos, el contenido de cafeína de los granos varía entre 1 y 2% MS aproximadamente (Berthaud, 1978a; Bouharmont, 1995).

Los cafés etíopes en la colección del CATIE han revelado una gran variabilidad para los caracteres que interesan a los seleccionadores, como la fertilidad, la granulometría o la conversión en café oro (Cuadro 11-3). Por ejemplo, algunos individuos poseen una granulometría equivalente a la de la variedad Maragogipe. Otras poseen una fertilidad muy elevada, con pocos frutos flotantes y granos caracoles.

La resistencia a parásitos y enfermedades ha sido recientemente estudiada en América Central entre individuos de las recolecciones de la FAO y ORSTOM (hoy IRD) en Etiopía (PROMECAFE, 1996 y 1997). Los resultados de las observaciones repetidas en colección y los de las pruebas efectuadas en laboratorio han mostrado que es posible seleccionar orígenes resistentes a la raza II de la roya anaranjada. Además, los estudios efectuados en América Latina y en Camerún pusieron en evidencia la existencia de una resistencia incompleta en algunas plantas de origen etíope, que podría actuar en complemento a la resistencia específica (Eskes, 1983; Gil *et al.*, 1990; Bouharmont, 1995; y capítulo 6). Plantas de origen etíope,

Cuadro 11-3. Variabilidad de las características de los frutos y de los granos en 164 individuos etíopes de las recolecciones FAO y ORSTOM, de la colección del CATIE (PROMECAFE, 1996).

Característica	Mínimo	Máximo	Promedio	Variación
Frutos flotantes (en %)	0	37.6	5.6	113 %
Peso de 10 granos de café oro (en g.)	11.8	23.7	17.2	13 %
Rendimiento en café oro (%)	12.7	22.3	17.1	10 %
Número promedio de granos por fruto	1.18	2.04	1.75	8 %
Granos caracoles (en %)	0.3	52.6	10.4	72 %

resistentes a los nematodos, pudieron ser seleccionadas para una especie endémica de Guatemala, *Meloidogyne* sp. (Anzueto *et al.*, 1991). Finalmente, la resistencia al CBD (*Colletotrichum kahawae*) se está evaluando en varios centros de investigación (Kenia, Camerún, Francia, Portugal) pero los resultados de las pruebas practicadas en las plántulas son actualmente objeto de una controversia.

b) *Las variedades cultivadas*

Las características del material cultivado se detallan en el capítulo 12 sobre mejoramiento genético. En resumen, las variedades que derivan de la estrecha base genética introducida en el siglo XVIII son muy productivas (sobre todo las variedades enanas, plantadas a alta densidad) y producen un café de buena calidad, pero son sensibles a la mayoría de los parásitos y de las enfermedades que atacan el café (roya, CBD, nematodos, broca,...). Las variedades que derivan del Híbrido de Timor (Costa Rica 95, variedad Colombia, Riuru 11, ...) son resistentes a la roya, a algunas poblaciones de nematodos (Bertrand *et al.*, 1995) y a algunas cepas de CBD (Aguilar *et al.*, 1997a y 1997b). Sin embargo, los segmentos cromosómicos *introgressados, heredados del ancestro *C. canephora* del Híbrido de Timor, podrían alterar la calidad de la bebida debido a la transferencia no controlada de *genes indeseables.

c) *La diferenciación genética entre cafés silvestres y cultivados*

La diferenciación genética entre los individuos de Etiopía y las variedades cultivadas de *C. arabica* ha sido estudiada con la ayuda de los

marcadores moleculares RAPD (ADN polimórfico amplificado al azar). De acuerdo con Lashermes *et al.* (1996c), los individuos silvestres se distinguen claramente de las variedades y generan la mayor parte de la diversidad observada (Figura 11-2). El número reducido de marcadores moleculares utilizados no ha permitido caracterizar las variedades al interior de los grupos Típica y Borbón.

Esta estructuración de la diversidad genética en tres grupos había sido observada en un estudio preliminar con otros orígenes de *C. arabica* (Orozco-Castillo *et al.*, 1994). Es corroborada por el vigor de los híbridos entre estos grupos, por un lado en las líneas Mundo Novo que provienen de cruces entre Típica y Borbón (ver la síntesis de Carvalho, 1988), y por otro lado en los híbridos F1 entre los individuos etíopes y las variedades cultivadas (capítulo 12). Si los cafés del suroeste de Etiopía no han participado efectivamente en la selección de variedades de *C. arabica*, como lo indican Bouharmont y Montagnon (1995), el vigor de los híbridos F1 se debería al cruce de los dos grupos genéticos, separados por el valle

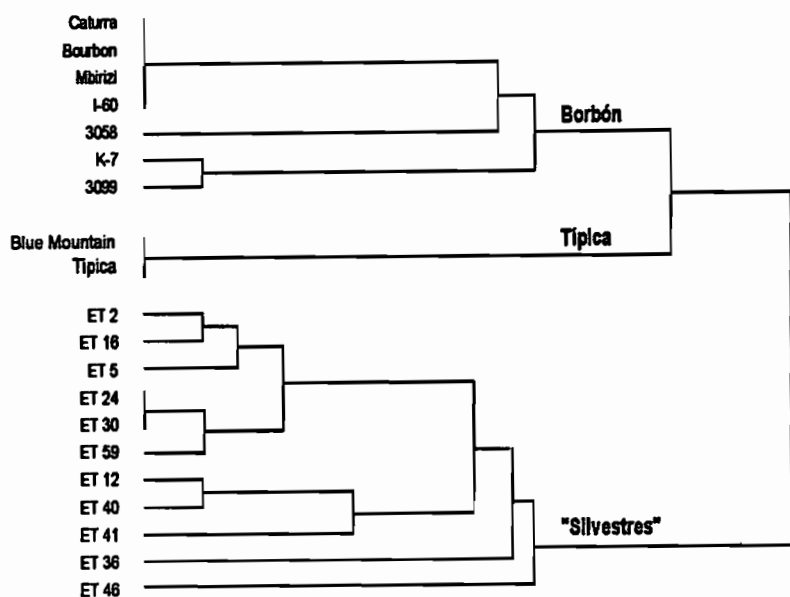


Figura 11-2. Clasificación de individuos silvestres y variedades cultivadas de *C. arabica*, por marcadores moleculares RAPD (adaptado de Lashermes *et al.*, 1996c).

del "rift". En efecto, las formas silvestres se sitúan al oeste de esta fosa tectónica (provincias de Kaffa y Illubador), mientras que las formas cultivadas habrían sido seleccionadas en el este (provincia de Sidamo y región cercana a Yemen). La diferenciación genética que permite obtener el vigor híbrido en los híbridos F1 no estaría entonces ligada a la selección efectuada por el hombre en las variedades cultivadas, sino a un aislamiento natural por un largo período (aproximadamente 20 millones de años). La confirmación de esta hipótesis reforzará la estrategia de los cruces entre estos dos grupos de cafés.

3.1.5 La diversidad genética disponible en las otras especies

a) La repartición de las especies

El centenar de especies conocidas están repartidas en tres conjuntos biogeográficos (Figura 11-3): en la región malgache (Chevalier, 1947), en África del Este (Bridson y Verdcourt, 1988) y en África Central y Occidental (Lebrun, 1941; Chevalier, 1947; P. Stoffelen, 1998). Algunas especies del género *Psilanthus* se encuentran también en India y hasta en Oceanía (Bridson, 1987). Especies como *C. canephora* y *C. liberica* están distribuidas a gran escala, de Guinea a Zaire. Otras tienen una distribución limitada y presentan adaptaciones particulares, como *C. humilis* en los bosques umbrófilos de África del Oeste o *C. congensis* en las riveras del río Congo (Zaire) y de sus afluentes en África Central.

Esta repartición da indicios a los principales acontecimientos geológicos que han marcado la historia de la Tierra:

1. la fragmentación del continente Gondwana, con la separación del conjunto [Madagascar + India] del África Oriental (hace 100 millones de años),
2. la separación del sub-continente indio (hace 65 millones de años),
3. la orogénesis del centro de África que termina con la aparición de una zona de altitud y la formación de dos fosas tectónicas ("rift") al este de Zaire (hace 20 millones de años).

La diferenciación de las especies ha sido también marcada fuertemente por las grandes conmociones climáticas a escala planetaria, de las cuales la más reciente (glaciación) se produjo hace solo 20 000 años.

b) La estructuración de la diversidad genética

La evolución de las especies en los diferentes medios estuvo acompañada de una diferenciación cromosómica, relativamente marcada entre

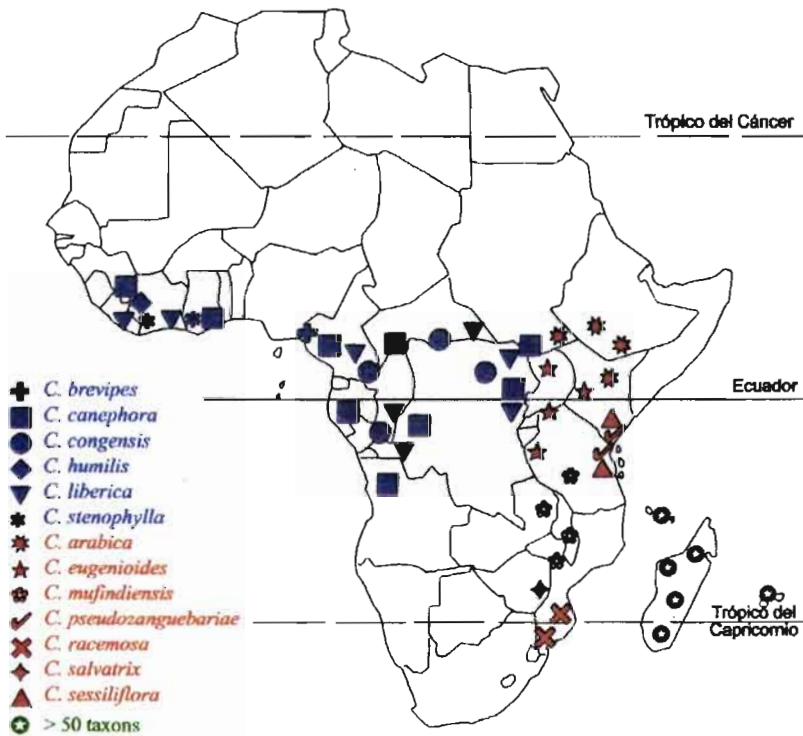


Figura 11-3. Distribución de las principales especies de café en tres grupos biogeográficos: el sector guineo-congolés (en azul), el África del Este (en rojo) y la región florística malgache (en verde).

los conjuntos biogeográficos. Estudiando la fertilidad de los híbridos interespecíficos controlados, Louarn (1992) concluye en la diferencia de estructura entre los *genomas de cafés africanos y malgaches, y a escala del continente africano, entre los *genomas de especies del este africano y guineo-congolesas.

Esta diferenciación es visible en las características morfo-fisiológicas. De manera general, los cafés de África del Este se presentan en forma de arbusto o de matorral, con pequeñas hojas coriáceas y pequeños frutos oscuros, precoces (1.5 a 4 meses de fructificación) mientras que los cafés

del ámbito guineo-congolés tienen una arquitectura de árbol, con hojas grandes y frutos gruesos de color claro, tardíos (7 a 15 meses) (Anthony, 1992).

El análisis de la composición bioquímica de los granos revela la existencia de dos vías metabólicas (Anthony *et al.*, 1993): los cafés de alto contenido en ácidos clorogénicos (4.5 a 9.9% MS) y en cafeína (0.5 a 3.2% MS) se oponen a los que poseen bajos contenidos (respectivamente 0.1 a 2.4% MS y 0 a 0.3% MS). La primera vía es común a casi todas las especies africanas y a dos especies malgaches (*C. lancifolia*, *C. kianjavatensis*) mientras que la segunda está presente en la mayoría de las especies malgaches y solamente en dos especies africanas (*C. pseudozanguebarie*, *C. salvatrix*). Esta segunda vía se caracteriza también por la síntesis de varios compuestos muy escasos (diterpenos glicosídicos) que no han sido detectados en los cafés "con cafeína" (Rakotomalala *et al.*, 1993). La existencia de afinidades bioquímicas entre algunos cafés africanos y malgaches podría significar que tuvieron lugar intercambios a través del canal de Mozambique durante los millones de años que duró la evolución.

c) *Algunas características interesantes*

La diversidad morfológica encontrada en los cafés silvestres se ilustra en las fotografías 11-1 a 11-4. En relación con los principales criterios de selección, los caracteres más interesantes son:

la resistencia a diferentes razas de roya anaranjada, observada frecuentemente en *C. canephora* (Berthaud y Lourd, 1982; Kushalappa y Eskes, 1989; Montagnon y Leroy, 1993) y *C. pseudozanguebariae* (Rodríguez Jr., 1980), pero también, con una frecuencia más baja en *C. liberica*, *C. eugenioides* y *C. salvatrix* (Rodríguez Jr. *et al.*, 1975; Rodríguez Jr., 1980);

la resistencia al CBD de *C. canephora* (ver síntesis de Carvalho, 1988; Rodríguez Jr. *et al.*, 1992);

la resistencia a varias especies de nematodos del género *Meloidogyne*, puesta en evidencia en *C. canephora*, en América Central (Bertrand *et al.*, 1995) y Brasil; y en *C. liberica* y *C. congensis* (en realidad híbridos de *C. canephora* x *C. congensis*) en Brasil (ver síntesis de Carvalho, 1988); la resistencia al minador de las hojas (*Leucoptera coffeella*) de *C. racemosa* (Medina Filho *et al.*, 1977a y 1977b) y *C. stenophylla* (Cardenas-Murillo y Posada-Ochoa, 1984; Guerreiro Filho y Medina Filho, 1991);

la ausencia de cafeína en los granos de *C. pseudozanguebariae* (Hamon *et al.*, 1984) y de la mayoría de las especies malgaches (d'Ornano *et al.*, 1965; Rakotomalala *et al.*, 1993);



Foto 11-1. Cafeto *C. canephora* cultivado en Costa de Marfil.



Foto 11-2. Ramas con frutos de *C. eugenioides*.



Foto 11-3. Flor y fruto de *C. pseudozanguebariae*.



Foto 11-4. Polimorfismo de los frutos en *C. liberica* var. *dewevrei*.

la tolerancia a las bajas temperaturas de *C. liberica* (Ahmad y Vishveshwara, 1980);

la adaptación a la sequía (pluviosidad anual inferior a 1000 mm) y a las temperaturas elevadas de *C. racemosa* (Guerreiro Filho, 1992);

la adaptación a las zonas inundables de *C. congensis*, explotada en los híbridos Congusta (*C. canephora* x *C. congensis*) cultivados en Madagascar (Charrier, 1972).

3.1.6 La transferencia de caracteres entre especies

Todas las especies conocidas de cafés son diploides ($2n = 2x = 22$ cromosomas), excepto *C. arabica* que es tetraploide ($2n = 4x = 44$). Las observaciones de naturaleza citogenética indican que esta especie tendría un origen *alotetraploide (Bouharmont, 1959; Grassias y Kammacher, 1975), sin embargo con una fuerte afinidad entre los dos *genomas constitutivos. La presencia de un *genoma común de *C. arabica* y de otras especies de café hace posible la transferencia de caracteres hacia las variedades cultivadas por hibridación controlada. Tres vías de *introgresión son posibles (figura 11-4):

1. "la vía tetraploide" hace preceder la hibridación interespecífica por la *duplicación cromosómica del progenitor diploide. Los híbridos obtenidos se llaman "Arabusta" y son fértiles;
2. "la vía triploide" debuta con la hibridación a diferentes *niveles de ploidía. Conduce a la obtención de híbridos triploides, casi estériles;
3. "la vía hexaploide" difiere de la vía triploide por una restauración de la fertilidad de los híbridos triploides por medio de una *duplicación cromosómica.

Cualquiera que sea la vía escogida, los híbridos interespecíficos F1 (tetraploides, triploides o hexaploides) son luego retrocruzados por la variedad cultivada con el fin de mejorar el comportamiento agronómico y la fertilidad. En el caso de los híbridos triploides y hexaploides, los retrocruzamientos tienen también como objeto llevar estructuras genéticas híbridas al *nivel de ploidía (tetraploide) de *C. arabica*.

Es difícil comparar estas tres vías de *introgresión, en términos de rapidez y de eficacia, debido a que han sido exploradas para resolver problemas diferentes. La vía triploide parece ser la más directa pero pasa por una etapa difícil: la obtención y la utilización de híbridos triploides, casi estériles (Krug y Mendes, 1940; Berthaud, 1978b y 1978c). En Colombia, Orozco Castillo (1989) pudo seleccionar individuos más productivos que el testigo Caturra desde el primer retrocruzamiento o desde la segunda generación de híbridos en fecundación libre. En Brasil, Carvalho (1988)

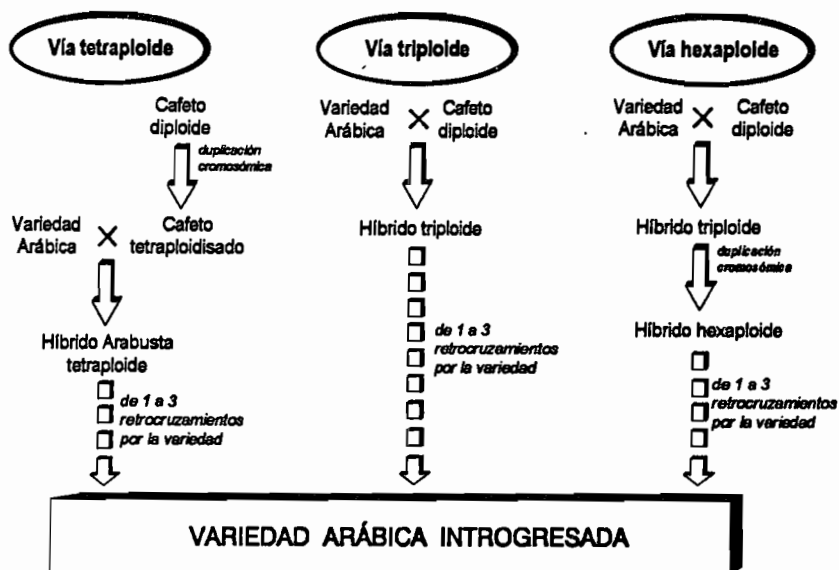


Figura 11-4. Posibles vías para la introgresión de caracteres de las especies diploides en las variedades cultivadas de *C. arabica*.

reporta que necesitó un número equivalente de generaciones para obtener poblaciones prometedoras de Icatu. Sin embargo, en cada generación, el mejoramiento del comportamiento agronómico y la restauración de la fertilidad están acompañadas de la pérdida de segmentos cromosómicos del progenitor diploide, de los cuales algunos son portadores de *genes interesantes.

En Costa de Marfil, las vías tetraploides y hexaploides han sido probadas para mejorar la calidad del café Robusta producido a baja altitud. A partir de aproximadamente 10 000 híbridos Arabusta F1 creados, Charmetant *et al.* (1991) concluyen que la restauración de la fertilidad de los progenitores *autotetraploides de *C. canephora*, por mezcla en generaciones sucesivas, no tiene efecto sobre la fertilidad de los híbridos Arabusta. En cambio, la especie diploide parental, utilizada en el cruceamiento interespecífico, tiene una fuerte influencia sobre el vigor y la fertilidad de los Arabusta (Le Pierrès, 1995). En cuanto a la vía hexaploide, no ha permitido seleccionar híbridos válidos para la baja altitud (Le Pierrès y Anthony, 1980). Sin embargo, constituye una alternativa para la *introgresión.

4 Las Perspectivas, "entre Sueño y Realidad"

Las perspectivas más prometedoras para el mejoramiento del café Arábica se esperan de las investigaciones efectuadas a nivel del *genoma, con la ayuda de las herramientas de la biología molecular (ver la síntesis de Anthony *et al.*, 1997). Las moléculas de ADN llevan marcas de cambios de estructura (modificación de los nucleótidos) y de las recombinaciones cromosómicas (duplicación, inversión,...) que sucedieron a través de la evolución, durante millones de años. El análisis del ADN provee informaciones sobre la organización de la diversidad genética, la codificación de los caracteres y las posibilidades de transferencia.

Los primeros resultados de los análisis moleculares muestran que la diversidad genética en el seno de la especie *C. arabica* es baja. La transferencia de nuevas potencialidades a partir de las especies diploides aparece entonces como una vía inevitable para los programas de mejoramiento. Ya sea que la transferencia se efectúe por cruzamiento controlado o por transformación genética, la utilización de los marcadores moleculares ligados a los caracteres interesantes permitirá aumentar considerablemente la eficacia de los programas de selección.

4.1 Las investigaciones fuera de América Central

Actualmente, la mayoría de las investigaciones sobre el *genoma de los cafés se llevan a cabo en Francia. Se refieren al estudio de las relaciones filogenéticas, la construcción de un mapa genético, la transformación genética y el análisis de los límites a la *introgresión.

4.1.1 Tras la pista de los ancestros de *C. arabica*

La introducción de nuevas potencialidades en las variedades cultivadas en América Central será facilitada por la utilización de especies filogenéticamente cercanas a *C. arabica*. Estudiar las relaciones filogenéticas en un grupo de especies consiste en analizar las diferencias moleculares que aparecieron durante el proceso de diferenciación de las especies. En particular, es posible designar las especies diploides que presentan afinidades *genómicas con uno de los dos *genomas constitutivos de la especie *alotetraploide *C. arabica*.

a) *La búsqueda de parentesco por el análisis del ADNcp*

El ADN que se encuentra en los cloroplastos (ADNcp) constituye un material privilegiado para estudiar las relaciones filogenéticas entre especies, ya que presenta pocos cambios estructurales y posee secuencias conservadas, es decir, que han tenido una evolución lenta. Sus variaciones en la región entre los *genes *trnL* - *trnF* fueron estudiados con la ayuda de marcadores RFLP (polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción) en 38 individuos que representaban 25 especies de *Coffea* (Cros *et al.*, 1998). Estos *genes codifican los ARN de transferencia de dos *aminoácidos, la leucina y la fenilalanina. Las principales ramas de la clasificación se sobrepusieron estrechamente a las áreas de origen de las especies (Figura 11-5). Una de ellas reunió los dos individuos de *C. arabica* con *C. eugenoides* de África del Este y *Coffea* sp. "Moloundou", una nueva especie, recientemente descubierta en África Central (Anthony *et al.*, en prensa 1). Como el ADNcp tiene una transmisión exclusivamente materna (Lashermes *et al.*, 1996b), todas estas especies podrían tener el mismo ascendente materno.

b) *La búsqueda de parentesco por el análisis del ADNr*

El ADN presente en los ribosomas (ADNr) constituye también un material para los estudios filogenéticos debido a su ubicuidad en la naturaleza y a la existencia de regiones codificadas conservadas, separadas por regiones no codificadas muy *polimórficas. Se encuentra en los núcleos, las mitocondrias y los cloroplastos, y se transmite entonces por vía materna y paterna. Su estudio provee informaciones complementarias a las obtenidas con el ADNcp. La región ITS 2 (espaciador transcrito interno) que codifica los ARNr 18S y 26S fue *secuenciada en 37 individuos que representaban 32 especies (Lashermes *et al.*, 1997b). Como para la clasificación basada en el *polimorfismo del ADNcp, las principales ramas aparecieron estrechamente ligadas al origen de las especies (Figura 11-6). Sin embargo, los dos individuos de *C. arabica* se clasificaron con especies de África Central y Occidental: *C. canephora*, *C. congensis* y *C. brevipes*. Por otro lado, las dos especies identificadas por el estudio de la filiación materna, *C. eugenoides* y *Coffea* sp. "Moloundou", se reagruparon en otra rama.

c) *Conclusión del estudio filogenético*

El estudio filogenético permitió confirmar el origen *alotetraploide de *C. arabica*. Fortalece la hipótesis emitida por Lashermes *et al.* (1996c) de

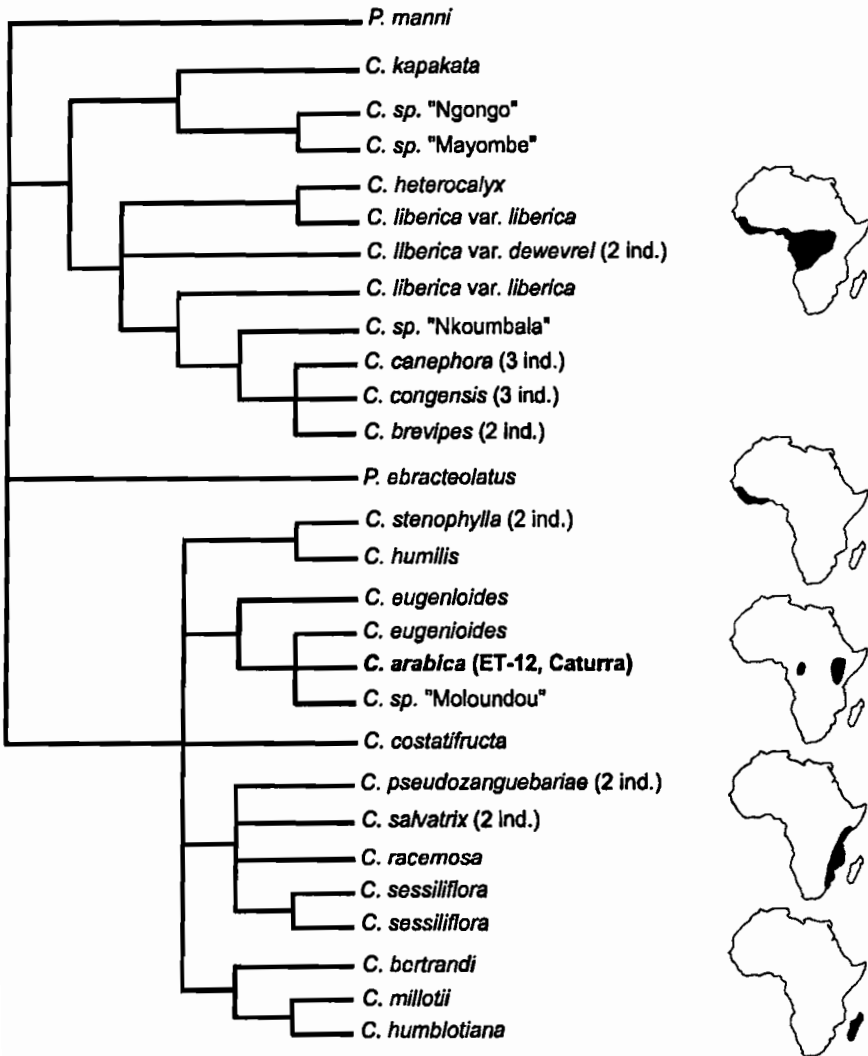


Figura 11-5. Clasificación filogenética de 25 especies de café, basada en el polimorfismo del ADNcp, y distribución geográfica de las principales ramificaciones (adaptado de Cros *et al.*, 1998).

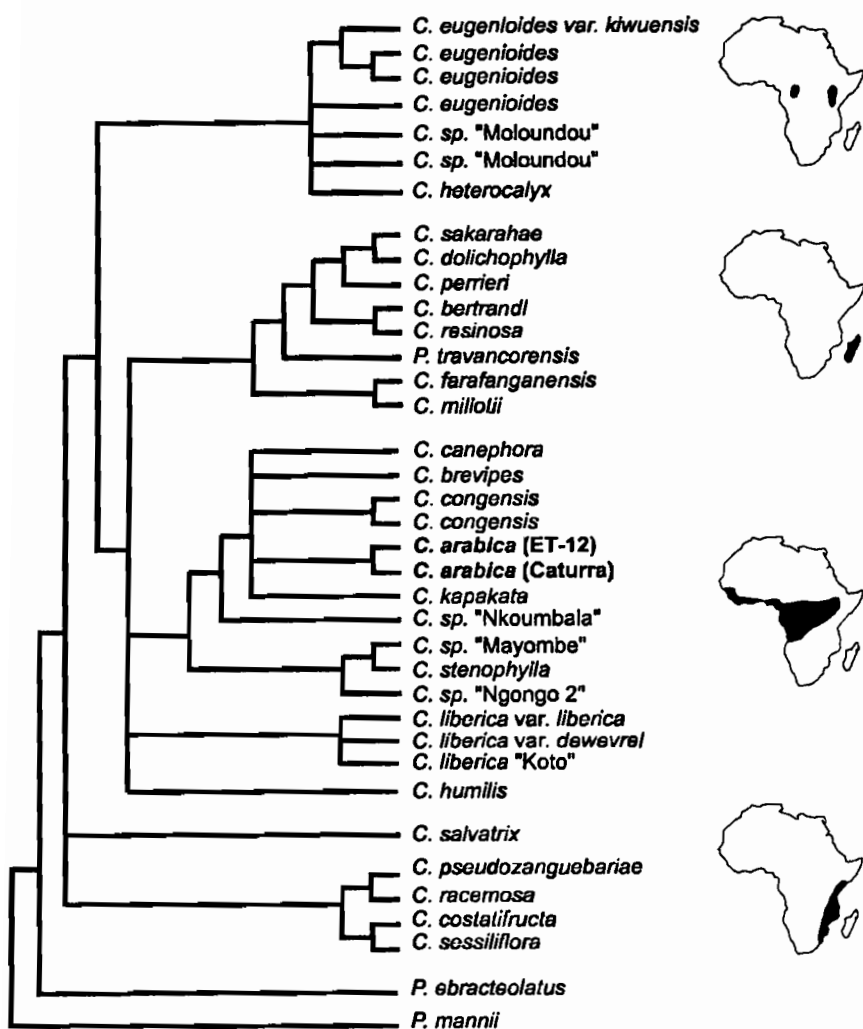


Figura 11-6. Clasificación filogenética de 32 especies de café, basada en el polimorfismo del ADNr, y distribución geográfica de las principales ramificaciones (adaptado de Lashermes *et al.*, 1997b).

que *C. arabica* podría provenir de la hibridación de dos especies de *Coffea*, cercanas de *C. eugenioides* y de *C. canephora*. El posible parentesco entre *C. arabica*, *C. eugenioides* y *C. congensis* ya había sido evocado por el análisis del ADN mitocondrial (Berthou *et al.*, 1983). La *introgresión de caracteres en las variedades cultivadas de *C. arabica* deberá entonces ser probada de preferencia a partir de estas especies.

4.1.2 Hacia el manejo del mejoramiento con un mapa genético

Un mapa genético se presenta como un mapa de carreteras en el cual los cromosomas y los *genes que llevan consigo constituirían las carreteras y las ciudades (Phillips-Mora *et al.*, 1995). Las distancias se miden por una unidad, el centi-Morgan (cM), que corresponde al porcentaje de *recombinación observado entre los *loci. El término "distancia" debe ser entendido en un sentido genético y no físico.

Ya sea que se trate de caracteres *monogénicos o *poligénicos, los *genes son identificados por marcadores moleculares. Estos últimos permiten luego seguir la transferencia de caracteres a cada generación. Es posible efectuar una selección precoz, en almácigo, y plantar en ensayo solamente individuos preseleccionados. Disponer de un mapa genético constituye por lo tanto un progreso considerable.

Entre los cafés, un primer mapa fue construido para la especie *C. canephora* con 147 marcadores (Paillard *et al.*, 1996). Mide 1.402 cM y contiene 15 *grupos de ligamiento. Se trata de un mapa de densidad promedio (10 cM en promedio entre marcadores), ya utilizable para localizar *genes, como el de la *autoincompatibilidad sobre el *grupo de ligamiento n° 9 (Lashermes *et al.*, 1996a). Hay que adaptar este mapa a la especie *C. arabica* antes de poder emprender el análisis genético de los caracteres agronómicos y la marcación de los *loci que intervienen en la codificación de los caracteres cuantitativos (QTL), los más interesantes para los seleccionadores. Sin embargo, los marcadores actualmente disponibles para el café (RAPD y RFLP) permiten controlar solamente la *introgresión de caracteres de una especie diploide hacia *C. arabica*. La utilización de otros marcadores (por ejemplo los microsatélites) es necesaria para seguir la transferencia de caracteres entre individuos de la especie tetraploide.

4.1.3 La manipulación de los *genes

Los métodos de transformación genética han sido desarrollados en café (capítulo 13). Su aplicación para el mejoramiento genético dispone

actualmente de un número muy limitado de *genes clonados interesantes. Por primera vez, un *gen de interés agronómico fue recientemente introducido en el *genoma de *C. canephora* pero solamente 10% de los eventos de transformación funcionaron (Leroy *et al.*, 1997). Por eso el proceso de transformación necesita ser optimizado y adaptado al cafeto arábica. En Colombia, CENICAFE comienza un programa de transformación genética para la resistencia a la broca del fruto (Moreno, comunicación personal) cuya primera etapa consiste en dominar las técnicas de transferencia de *genes y optimizar los métodos de regeneración. Sin pertenecer formalmente al campo del sueño, la manipulación de *genes no se hará realidad sino hasta dentro de algunos años.

4.1.4 Los límites a la *introgresión

Las transferencias de *genes entre especies están limitadas naturalmente por las barreras reproductivas que han sido elaboradas a través de los millones de años de la evolución. Dependen también de la organización de *genes en *grupos de ligamiento cuyo papel es el de mantener la integridad biológica de los organismos vivientes. Existen entonces límites a la *introgresión, ya sea por los métodos convencionales, basados en los cruzamientos controlados, o por los métodos de la ingeniería genética.

Las barreras reproductivas puestas en evidencia entre los cafés son numerosas y variadas. Por ejemplo, entre dos especies que habitan en un mismo bosque en Kenia, *C. sessiliflora* y *C. pseudozanguebariae*, estas barreras intervienen en el éxito de las fecundaciones, el desarrollo del albumen de los granos, el vigor de los híbridos y su fertilidad (Anthony *et al.*, en prensa 2). Cada barrera puede ser superada, aunque, con una débil probabilidad en las condiciones naturales, pero su sucesión garantiza el aislamiento de los *genes de dos especies. Entre *C. arabica* y las otras especies, se agrega la diferencia de *nivel de ploidía que no impide sin embargo, la producción de híbridos triploides o tetraploides, más o menos fértiles (Le Pierrès, 1995). Otra barrera podría explicar los problemas de fertilidad descritos por Louarn (1993), en los híbridos entre especies del este africano y guineo-congoleses: la cantidad de ADN nuclear. Entre especies diploides, las variaciones alcanzan 100% cuando al nivel intraespecífico, no superan 20% (Cros, 1996). Por regla general, las bajas cantidades de ADN nuclear se encuentran en África del Este, cerca del supuesto centro de origen del café (Cros *et al.*, 1995). El tamaño del *genoma habría aumentado durante la evolución, sin duda por repeticiones de secuencias. Durante la *meiosis, tamaños diferentes de *genoma podrían conducir a malos apareamientos cromosómicos y por ello a la esterilidad de los híbridos.

El reagrupamiento de *genes en forma de *grupos de ligamiento fue estudiado en los híbridos entre dos especies muy diferentes (Cuadro 11-4): *C. liberica* de África Central y *C. pseudozanguebariae* de África del Este. Mientras que el contenido de cafeína en los híbridos entre especies con cafeína se transmite por lo general como caracteres cuantitativos de efecto aditivo (Charrier y Berthaud, 1975; Mazzafera y Carvalho, 1992), los híbridos F1 entre *C. liberica* con cafeína y *C. pseudozanguebariae* sin cafeína presentaron un contenido en cafeína (0.2% MS) muy inferior al promedio de los contenidos de sus padres (0.47% MS) (Barre *et al.*, 1998). Los híbridos de segunda generación, en *segregación, revelaron una relación de tipo hiperbólico entre los contenidos en cafeína y *heterósidos, la cual podría resultar de un ligamiento genético y/o de una interacción durante la síntesis de estos dos compuestos. ¿Será posible seleccionar un día un café productivo con ciclo corto de fructificación, con una fuerte granulometría, y que produzca "buen" café sin cafeína? Ahí es donde comienza sin duda el sueño.

Cuadro 11-4. Principales características de las especies *C. liberica* var. *dewevrei* y *C. pseudozanguebariae* (adaptado de Barre, 1997).

Carácter	<i>C. liberica</i> var. <i>dewevrei</i>	<i>C. pseudozanguebariae</i>
Arquitectura	árbol (15 a 20 m)	arbusto (1,5 a 3,5 m)
Tamaño de las hojas (cm)	15-30 x 5-15	7,8-10,2 x 2,9-4,1
Número de flores por pedúnculo	4	1
Número de pétalos	5 a 6	5 a 8
Intervalo lluvia - floración (días)	6	7 a 8
Duración de la fructificación (meses)	10 a 11	2,5 a 3,5
Color de los frutos	rojo	morado oscuro
Tamaño de los frutos (mm)	15-20 x 13-16	8,3-11,3 x 5,7-8,4
Peso de los granos (mg)	132	24
Contenido de cafeína (% MS)	0,5 a 1,8	0
Presencia de heterósidos		
diterpenos	0	+++
Calidad de la bebida	buen	muy mala

4.2 El programa en América Central

Desde 1993, la utilización de marcadores moleculares se ha desarrollado en el CATIE, en el marco del programa regional de mejoramiento genético, dirigido por PROMECAFE con la participación del CATIE y de la Cooperación Francesa (CIRAD, IRD, MAE).

4.2.1 La evaluación de la diversidad genética disponible en la colección del CATIE

La diversidad genética disponible en la colección del CATIE está en proceso de evaluación por los marcadores moleculares RAPD. El material estudiado constituye un amplio muestreo de la totalidad del área de origen de la especie *C. arabica*. Está compuesto por individuos silvestres de las recolecciones FAO e IRD en Etiopía y de la prospección IPGRI en Yemen, así como por las principales variedades (Típica, Borbón, Caturra, Villarsachi, Híbrido de Timor,...). Los primeros resultados corroboran la existencia de una base genética limitada en *C. arabica*, revelada por los estudios preliminares de Orozco-Castillo *et al.* (1994) y de Lashermes *et al.* (1996c): solamente 12% de los blancos utilizados para las reacciones PCR (reacción en cadena de la polimerasa) detectan *polimorfismo. Esta evaluación *genotípica se completa con la evaluación *fenotípica, basada en la observación en el campo de los caracteres utilizados como criterio de selección en la región, por ejemplo los defectos de los frutos y de los granos, o la resistencia a enfermedades y parásitos (roya, nematodos, CBD).

Los resultados tendrán fuertes implicaciones en la conservación y la utilización de los recursos genéticos. Revelar la estructura de la diversidad disponible en el CATIE para el mejoramiento regional conducirá a la definición de grupos de individuos genéticamente cercanos. La diversidad disponible podrá entonces ser utilizada de manera racional basándose en la estimación de la distancia genética entre las variedades cultivadas y los diversos grupos de individuos silvestres. Cruzamientos entre grupos genéticos darán origen a individuos silvestres con mejores aptitudes para el programa de creación varietal, por la acumulación de caracteres interesantes. Finalmente, los datos de las dos evaluaciones *genotípica y *fenotípica serán reunidos para definir una colección núcleo ("*core collection*") que contendrá una gran parte de la diversidad disponible, con un número limitado de individuos. La difusión de tal colección permitirá un amplio acceso a los recursos genéticos.

4.2.2 El marcado de los *genes de interés para el mejoramiento genético

Se han desarrollado métodos directos de marcado de regiones particulares del *genoma, sin necesitar un mapa genético, para los caracteres de determinismo simple. El mejor adaptado en el caso de las plantas perennes como el café, es conocido con el nombre de "*Bulk Segregant Analysis*" (Michelmore *et al.*, 1991). Se basa en la investigación de marcadores de un carácter interesante en una población *segregante. Poblaciones *segregantes, provenientes de autofecundación o de retrocruzamiento, pueden ser estudiadas con este método. Un método similar, basado en la comparación de los perfiles moleculares entre cafetos resistentes al CBD y cafetos susceptibles, permitió identificar tres marcadores RAPD estrechamente ligados a uno de los tres *genes conocidos de la resistencia al CBD, el *gen *T* presente en el Híbrido de Timor (Agwanda *et al.*, 1997). Es la primera etapa hacia una selección del café arábica, asistida por marcadores moleculares (Lashermes *et al.*, 1997a).

En América Central, los híbridos F1 creados entre los individuos silvestres y las variedades Catimor o Sarchimor permiten crear poblaciones *segregantes para numerosos caracteres agronómicos, con determinismo *monogénico. Los híbridos F1 que se utilizan son escogidos a partir de los datos de la evaluación *fenotípica de sus progenitores. En 1998 se inició un proyecto financiado por la UE para identificar marcadores moleculares ligados a la resistencia a dos especies de nematodos, *M. exigua* de Costa Rica y *Meloidogyne* sp. de Guatemala. Otros caracteres *monogénicos de interés podrán también ser marcados a corto plazo. Por ejemplo, la explotación de la esterilidad masculina, detectada en varios individuos etíopes de la colección del CATIE (Dufour *et al.*, 1997), abriría la puerta a una distribución de híbridos F1 por semilla.

5 Conclusión

Los recursos genéticos encierran efectivamente las bases de una solución genética para resolver numerosos problemas de la caficultura latinoamericana. Las colecciones existentes contienen una amplia representación de la diversidad natural, aunque el inventario de las especies no esté terminado. Los esquemas que conducen a la *introgresión de nuevos caracteres son conocidos y ya han sido probados con poblaciones grandes. Además, los fitomejoradores podrán basarse próximamente en la utilización de

marcadores moleculares para seguir los segmentos cromosómicos transferidos. Esta selección asistida por marcadores permitirá también una eliminación más rápida de los *genes indeseables.

La utilización de la diversidad genética disponible en colección se enfrenta sin embargo a dos problemas mayores: el acceso limitado a los recursos genéticos conservados y las carencias de la evaluación genética. La casi totalidad de la diversidad de las especies diploides está preservada en dos colecciones únicas, en Costa de Marfil y en Madagascar. Esta ausencia de difusión es un freno importante en la utilización de estos recursos. Limita considerablemente también las posibilidades de evaluación *fenotípica, reduciéndola a un único sitio de observación.

Para aplicar la solución genética propuesta en este capítulo, se deberá desarrollar relaciones entre América Central y los países africanos implicados en la conservación y la evaluación de los recursos genéticos del café. A nivel institucional, el CATIE ya ha dado un paso en esta dirección, al transformarse en 1996, en miembro asociado de la red africana RECA (Alvarez, comunicación personal). Esta red, abierta a todos los países miembros de la OIAC, tiene como finalidad redinamizar y mejorar la investigación con vistas a aumentar la productividad y la calidad del café africano. Por su lado, los mejoradores centroamericanos deberán interesarse en los trabajos realizados en Costa de Marfil y en Madagascar, sobre las especies diploides, y en África del Este y en Camerún, sobre la especie *C. arabica*. La unión de los medios de investigación a escala continental y con África es una condición indispensable para dotar al programa de mejoramiento regional de medios modernos, necesarios para poder mejorar rápida y eficazmente las variedades centroamericanas.

Bibliografía

- Aguilar, G.; Bertrand, B.; Anthony, F. 1997a. Comportamiento agronómico y resistencia a las principales plagas de diferentes variedades, derivadas del híbrido de Timor (primera parte). Noticiero del Café 11(94): 1-4.
- _____; Bertrand, B.; Anthony, F. 1997b. Comportamiento agronómico y resistencia a las principales plagas de diferentes variedades, derivadas del híbrido de Timor (segunda parte). Noticiero del Café 11(95): 1-4.
- Agwanda, C.O.; Lashermes, P.; Trouslot, P.; Combes, M.C.; Charrier, A. 1997. Identification of RAPD markers for resistance to Coffee Berry Disease, *Colletotrichum kahawae*, in arabica coffee. Euphytica 97: 241-248.
- Ahmad, J.; Vishveshwara, S. 1980. *Coffea liberica* Bull ex Hiern: a review. Indian Coffee 44(2-3): 29-36.

- Anthony, F. 1992. Les ressources génétiques des caféiers: collecte, gestion d'un conservatoire et évaluation de la diversité génétique. Colección Travaux et Documents Microfichés no. 81. Paris, Francia, ORSTOM. 320 p.
- _____.; Couturon, E.; de Naumur, C. 1985. Les caféiers sauvages du Cameroun: résultats d'une mission de prospection effectuée par l'ORSTOM en 1983. In 11 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Lomé, Togo, 11-15 de febrero, 1985. Vevey, Suiza, ASIC. p. 495-505.
- _____.; Berthaud, J.; Guillaumet, J.L.; Lourd, M. 1987. Collecting wild *Coffea* species in Kenya and Tanzania. Plant Genetic Resources Newsletter 69: 23-29.
- _____.; Clifford, M.N.; Noirot, M. 1993. Biochemical diversity in the genus *Coffea* L.: chlorogenic acids, caffeine and mozambioside contents. Genetic Resources and Crop Evolution 40: 61-70.
- _____.; Bertrand, B.; Lashermes, P.; Charrier, A. 1997. La biologie moléculaire en appui à l'amélioration génétique du caféier Arabica. Plantations, Recherche, Développement 4(6): 369-377.
- _____.; Louarn, J.; Bontemps, S.; Groell, C.; Charrier, A. En prensa. 1. Classification of coffee new taxa (*Coffea* sp.) from central Africa, by enzyme markers and morphological traits. Canadian Journal of Botany.
- _____.; Mercier, J.P.; Hamon, S.; Louarn, J.; Charrier, A. En prensa. 2. The control of gene flow between two sympatric species of a perennial crop, *Coffea pseudozanguebariae* Bridson and *C. sessiliflora* Bridson. Canadian Journal of Botany.
- Anzueto, F.; Eskes, A.B.; Sarah, J.L.; Decazy, B. 1991. Recherche de la résistance à *Meloidogyne* sp. dans une collection de *Coffea arabica*. In 14 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. San Francisco, EE.UU., 14-19 de julio, 1991. Vevey, Suiza, ASIC. p. 534-543.
- Barre, P. 1997. Les transferts de gènes entre espèces de caféiers diploïdes : étude des hybrides F1 entre *C. pseudozanguebariae* Bridson et *C. liberica* Bull ex. Hiern (*C. dewevrei* De Wild et Th. Dur). Tesis de doctorado. Escuela Nacional Superior de Agronomía de Montpellier, Francia. 117 p. + anexos.
- Barre, P.; Akaffou, S.; Louarn, J.; Charrier, A.; Hamon, S.; Noirot, M. 1998. Inheritance of caffeine and heteroside contents in an interspecific cross between a cultivated coffee species *Coffea liberica* var *dewevrei* and a wild species caffeine-free *C. pseudozanguebariae*. Theor. Appl. Genet. 96: 306-311.
- Berthaud, J. 1978a. Variabilité de la teneur en caféine des *Coffea arabica*. Bulletin I.F.C.C. 14: 52-54.
- _____. 1978b. L'hybridation interspécifique entre *Coffea arabica* L. et *Coffea canephora* Pierre. Obtention et comparaison des hybrides triploïdes, Arabusta et hexaploïdes. Primera parte. Café-Cacao-Té 22(1): 3-12.
- _____. 1978c. L'hybridation interspécifique entre *Coffea arabica* L. et *Coffea canephora* Pierre. Obtention et comparaison des hybrides triploïdes, Arabusta et hexaploïdes. Segunda parte. Café-Cacao-Té 22(2): 87-112.
- _____. 1983. Liste du matériel provenant des prospections de Côte d'Ivoire. Adiopodoumé, Costa de Marfil, ORSTOM. 17 p. Documento interno.

- Berthaud, J. 1986. Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes : évaluation de la richesse génétique des populations silvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour l'application. Collection "Travaux et Documents". Paris, Francia, ORSTOM. 372 p.
- _____; Guillaumet, J.L. 1978. Les caféiers sauvages en Centrafrique. Résultats d'une mission de prospection (janvier - février 1975). *Café-Cacao-Thé* 22(3): 171-186.
- _____; Guillaumet, J.L.; Le Pierres, D.; Lourd, M. 1980. Les caféiers sauvages du Kenya : prospection et mise en culture. *Café-Cacao-Thé* 24(2): 101-112.
- _____; Lourd, M. 1982. La résistance à *Hemileia vastatrix* des caféiers de l'espèce *Coffea canephora* de Côte d'Ivoire. Etude de la transmission de ce caractère par croisements contrôlés. *Garcia de Orta, Série Estudios Agronómicos* 9(1-2): 89-96.
- _____; Anthony, F.; Lourd, M. 1983. Les caféiers sauvages de Tanzanie. Résultats d'une mission de prospection effectuée du 5 mars au 11 avril 1982. *Café-Cacao-Thé* 27(4): 245-258.
- Berthou, F.; Trouslot, P. 1977. L'analyse du polymorphisme enzymatique dans le genre *Coffea* : adaptation d'une méthode d'électrophorèse en série. Premiers résultats. In 8 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Abidjan, Costa de Marfil, 28 de noviembre-3 de diciembre, 1977. Vevey, Suiza, ASIC. p. 373-384.
- _____; Mathieu, C.; Vedel, F. 1983. Chloroplast and mitochondrial DNA variation as indicator of phylogenetic relationships in the genus *Coffea* L.. *Theor. Appl. Genet.* 65: 77-84.
- Bertrand, B.; Anzueto, F.; Peña, M.X.; Anthony, F.; Eskes, A.B. 1995. Genetic improvement of coffee for resistance to root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Central America. In 16 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Kyoto, Japón, 9-14 de abril, 1995. Vevey, Suiza, ASIC. p. 630-636.
- Bouharmont, J. 1959. Recherche sur les affinités chromosomiques dans le genre *Coffea*. Publicación INEAC, Serie científica no. 77. 94 p.
- _____. 1995. La sélection du caféier Arabica au Cameroun (1964-1991). Document de travail du CIRAD-CP no. 1-95. Paris, Francia, CIRAD. 81 p. + anexos. Documento interno.
- _____; Montagnon, C. 1995. Diversité phénotypique de *Coffea arabica* observée en collection au Cameroun. In 16 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Kyoto, Japón, 9-14 de abril, 1995. Vevey, Suiza, ASIC. p. 829-838.
- Bridson, D. 1987. Nomenclatural notes on *Psilanthus*, including *Coffea* sect. *Paracoffea* (Rubiaceae tribe Coffeae). *Kew Bulletin* 42(2): 453-460.
- _____; Verdcourt, B. 1988. *Coffea*. In *Flora of Tropical East Africa. Rubiaceae* (Part 2). Ed. por R.M. Polhill. Rotterdam, Países Bajos, A.A. Balkema. p. 703-723.
- Cárdenas-Murillo, R.; Posada-Ochoa, L. 1984. Observaciones sobre resistencia de seis materiales de *Coffea* al daño del mirador de las hojas (*Leucoptera coffeella* G. M.). *Cenicafé* 35(1): 3-8.

- Carvalho, A. 1946. Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie *Arabica*. Bolétim da Superintendência dos Serviços do Café 21(229): 174-180.
- _____. 1988. Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors: *Coffea arabica*. In *Coffee*, volume 4: Agronomy. Ed. por R.J. Clarke y R. Macrae. Londres, Reino Unido, Elsevier Applied Science. p. 129-165.
- _____.; Ferwerda, F.P.; Frahm-Leliveld, J.A.; Medina, P.M.; Mendes, A.J.T.; Monaco, L.C. 1969. *Coffee*. In *Outlines of perennial crop breeding in the Tropics*. Ed. por F.P. Ferwerda y F. Wit Wageningen, Países Bajos, Veenman & Zonen NV. p. 189-241.
- Charmetant, P.; Le Pierres, D.; Yapo, A. 1991. Evaluation d'hybrides Arabusta F1 (caféiers diploïdes doublés x *Coffea arabica*) en Côte-d'Ivoire de 1982 à 1989. In 14 Coloquio Científico Internacional sobre el Café, San Francisco, EE.UU., 14-19 de julio, 1991. Vevey, Suiza, ASIC. p. 422-430.
- Charrier, A. 1972. L'intercompatibilité des clones de caféiers cultivés sur la côte est malgache. *Café-Cacao-Thé* 16(2): 111-122.
- _____. 1978. Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers. Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Côte d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce *Coffea arabica* L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966. Bulletin IFCC no. 14. Paris, Francia. 100 p.
- _____.; Berthaud, J. 1975. Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. *Café-Cacao-Thé* 19(4): 251-264.
- _____.; Berthaud, J. 1985. Botanical classification of coffee. In *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Ed. por M.N. Clifford y K.C. Willson. Londres, Reino Unido, Croom Helm. p. 13-47.
- _____.; Berthaud, J. 1988. Principles and methods in coffee plant breeding: *Coffea canephora* Pierre. In *Coffee*, volume 4 Agronomy. Ed. por R.J. Clarke y R. Macrae. Londres, Reino Unido, Elsevier Applied Science. p. 167-197.
- Chevalier, A. 1929. La culture du caféier dans les colonies françaises par les Européens et par les Indigènes. *Comunicaciones y Actas de la Academia de las Ciencias coloniales*. Paris, Francia. 17 p.
- _____. 1947. Les caféiers du globe. III) Systématique des caféiers et faux caféiers. Maladies et insectes nuisibles. *Encyclopédie biologique* no. 28(3). Paris, Francia, P. Lechevalier. 356 p.
- _____.; Dagron, M. 1928. Recherches historiques sur les débuts de la culture du caféier en Amérique. *Comunicaciones y Actas de la Academia de las Ciencias Coloniales*. Paris, Francia. 38 p.
- Cros, J. 1996. Implications phylogénétiques des variations de l'ADN chloroplastique chez les caféiers (genres *Coffea* L. et *Psilanthus* Hook. f.). *Colección "Thèse et Documents Microfichés"* no. 147. Paris, Francia, ORSTOM. 160 p.
- _____.; Combes, M.C.; Chabrilange, N.; Duperray, C.; Monnot des Angles, A.; Hamon, S. 1995. Nuclear DNA content in the subgenus *Coffea* (Rubiaceae): inter- and intra-specific variation in African species. *Can. J. Bot.* 73: 14-20.

- 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.
- Dufour, M.; Anthony, F.; Bertrand, B.; Eskes, A.B. 1997. Identification de caféiers mâle-stériles de *Coffea arabica* au CATIE, Costa Rica. *Plantations, Recherche, Développement* 4(6): 401-407.
- Dussert, S.; Chabrilange, N.; Engelmann, F.; Anthony, F.; Noirot, M.; Hamon, S. 1997. *In vitro* conservation of coffee (*Coffea* spp.) germplasm. In *Conservation of genetic resources in vitro*, Volume 1. Ed. por M.K. Razdan y E.C. Cocking. Nueva York, EE.UU., Science Publishers., p. 287-305.
- Eskes, A.B. 1983. Incomplete resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). Tesis de doctorado. Universidad de Agricultura, Wageningen, Países Bajos. 140 p.
- _____. 1989. Identification, description and collection of coffee types in P.D.R. Yemen. Informe de recolección. Montpellier, Francia, CIRAD. 22 p. + anexos. Documento interno.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1968. FAO coffee mission to Ethiopia 1964-1965. Informe de recolección. Roma, Italia, FAO. 200 p.
- Gul, S.L.; Berry, D.; Bieysse, D. 1990. Recherche sur la résistance incomplète à *Hemileia vastatrix* Berk et Br. dans un groupe de génotypes de *Coffea arabica* L. d'origine éthiopienne. *Café-Cacao-Thé* 34(2): 105-133.
- Grassias, M.; Kammacher, P. 1975. Observations sur la conjugaison chromosomique de *Coffea arabica* L.. *Café-Cacao-Thé* 19(3): 177-190.
- Guerreiro Filho, O. 1992. *Coffea racemosa* Lour. une revue. *Café-Cacao-Thé* 36(3): 171-186.
- _____.; Medina Filho, H.P. 1991. Fontes de resistência ao bicho mineiro, *Perileucoptera coffecella* em *Coffea* spp. *Bragantia* 50(1): 45-55.
- Guillaumet, J.L.; Halle, F. 1978. Echantillonnage du matériel récolté en Ethiopie. *Boletín.F.C.C.* 14: 13-18.
- Hamon, S.; Anthony, F.; Le Pierres, D. 1984. La variabilité génétique des caféiers spontanés de la section *Mozambicoffea* A. Chev. 1) Précisions sur deux espèces affines: *Coffea pseudozanguebariae* Bridson et C. sp. A Bridson. *Bull. Mus. natn. Hist. nat. Paris, Francia. Adansonia* 2: 207-223.
- IPGRI. 1996. Descriptores del café (*Coffea* spp. y *Psilanthus* spp.). Roma, Italia. 36 p.
- Jones, P.A. 1956. Notes on the varieties of *Coffea arabica* in Kenya. *Monthly Bulletin of the Coffee Board of Kenya* 21: 305-309.
- Krug, C.A.; Mendes, J.E.T. 1940. Cytological observations in *Coffea*. *J. Genetics* 39(2): 189-203.
- _____.; Mendes, J.E.T.; Carvalho, A. 1939. Taxonomia de *Coffea arabica* L.: descrição das variedades e formas encontradas no Estado de São Paulo. *Bolétim Técnico* no. 62. Sao Paulo, Brasil, Instituto Agrônômico do Estado em Campinas. 55 p. + anexos.

- Kushalappa, C.A.; Eskes, A.B. 1989. Advances in coffee rust research. *Annu. Rev. Phytopathol.* 27: 503-531.
- Lashermes, P.; Couturon, E.; Moreau, N.; Paillard, M.; Louarn, J. 1996a. Inheritance and genetic mapping of self-sterility in *Coffea canephora* Pierre. *Theor. Appl. Genet.* 93: 458-462.
- _____; Cros, J.; Combes, M.C.; Trouslot, P.; Anthony, F.; Hamon, S.; Charrier, A. 1996b. Inheritance and restriction fragment length polymorphism of chloroplast DNA in the genus *Coffea* L.. *Theor. Appl. Genet.* 93: 626-632.
- _____; Trouslot, P.; Anthony, F.; Combes, M.C.; Charrier, A. 1996c. Genetic diversity for RAPD markers between cultivated and wild accessions of *Coffea arabica*. *Euphytica* 87: 59-64.
- _____; Agwanda, C.O.; Anthony, F.; Combes, M.C.; Trouslot, P.; Charrier, A. 1997a. Molecular marker-assisted selection: a powerful approach for coffee improvement. In 17 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Nairobi, Kenia, 21-25 de julio, 1997. Vevey, Suiza, ASIC. p. 474-480.
- _____; Combes, M.C.; Trouslot, P.; Charrier, A. 1997b. Phylogenetic relationships of coffee-tree species (*Coffea* L.) as inferred from ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. *Theor. Appl. Genet.* 94: 947-955.
- Lebrun, J. 1941. Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo. *Mémoires XI (3)*. Bruselas, Bélgica, Instituto Real Colonial Belga. 184 p.
- Le Pierres, D. 1995. Etude des hybrides interspécifiques tétraploïdes de première génération entre *Coffea arabica* et les caféiers diploïdes. Tesis de doctorado. Universidad Paris-Sud (Orsay), Francia. 298 p.
- _____; Anthony, F. 1980. Les hybrides interspécifiques hexaploïdes *Coffea arabica* x *C. canephora* : influence du milieu et de la structure génétique sur les potentialités agronomiques. *Café-Cacao-Thé* 24(4): 291-296.
- _____; Charmetant, P.; Yapo, A.; Leroy, T.; Couturon, E.; Bontems, S.; Tehe, H. 1989. Les caféiers sauvages de Côte d'Ivoire et de Guinée : bilan des missions de prospections effectuées de 1984 à 1987. In 13 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Paipa, Colombia, 21-25 de agosto, 1989. Vevey, Suiza, ASIC. p. 420-428.
- Leroy, J.F. 1962. Prospection des caféiers sauvages. Rapport préliminaire sur une mission scientifique à Madagascar et aux Iles Mascareignes (27 avril-15 juillet 1962). *J. Agric. Trop. et Bot. Appl.* 9: 211-249.
- _____. 1963. Sur les caféiers sauvages des Iles Mascareignes. *C. R. Acad. Sci. Paris* 256: 2897-2899.
- _____. 1972a. Prospection des caféiers sauvages de Madagascar : deux espèces remarquables (*Coffea tsirananae* N. SP., *C. kianjavatensis* N. SP.). *Adansonia* 2, 12(3): 317-328.
- _____. 1972b. Prospections des caféiers sauvages de Madagascar : sur deux espèces sympatriques du Nord. *Adansonia* 2, 12(3): 345-358.

- Leroy, T.; Paillard, M.; Royer, M.; Spiral, J.; Berthouly, M.; Tessereau, S.; Legavre, T.; Altosaar, I. 1997. Introduction de gènes d'intérêt agronomique dans l'espèce *Coffea canephora* Pierre par transformation avec *Agrobacterium* sp. In 17 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Nairobi, Kenia, 21-25 de julio, 1997. Vevey, Suiza, ASIC. p. 439-446.
- Louarn, J. 1992. La fertilité des hybrides interspécifiques et les relations génomiques entre caféiers diploïdes d'origine africaine (genre *Coffea* L. sous-genre *Coffea*). Tesis de doctorado. Universidad de Paris-Sud (Orsay), Francia. 200 p.
- _____. 1993. Structure génétique des caféiers africains diploïdes basée sur la fertilité des hybrides interspécifiques. In 15 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montpellier, Francia, 6-11 de junio, 1993. Vevey, Suiza, ASIC. p. 243-252.
- Mazzafera, P.; Carvalho, A. 1992. Breeding for low seed caffeine content of coffee (*Coffea* L.) by interspecific hybridization. *Euphytica* 59: 55-60.
- Medina Filho, H.P.; Carvalho, A.; Medina, D.M. 1977a. Germoplasma de *C. racemosa* e seu potencial no melhoramento do cafeeiro. *Bragantia* 36: 43-46.
- _____.; Carvalho, A.; Monaco, L.C. 1977b. Observações sobre a resistência do cafeeiro ao bicho mineiro. *Bragantia* 36: 131-137.
- Michelmore, R.W.; Paran, I.; Kesseli, R.V. 1991. Identification of markers linked to disease-resistance genes by bulked segregant analysis: a rapid method to detect markers in specific genomic regions by using segregating populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 88: 9828-9832.
- Montagnon, C.; Leroy, T. 1993. Résultats récents sur la résistance de *Coffea canephora* à la sécheresse, à la rouille orangée et au scolyte des branchettes en Côte-d'Ivoire. In 15 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montpellier, Francia, 6-11 de junio, 1993. Vevey, Suiza, ASIC. p. 309-317.
- Namur (de), C.; Couturon, E.; Sita, P.; Anthony, F. 1987. Rapport d'une mission de prospection des caféiers sauvages du Congo. In 12 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montreux, Suiza, 29 de junio-3 de julio, 1987. Vevey, Suiza, ASIC. p. 397-404.
- Ornano (d'), M.; Chassevent, F.; Pougneaud, S. 1965. Composition et caractéristiques chimiques de *Coffea* sauvages de Madagascar. 1) Recherches préliminaires sur leur teneur en caféine et isolement de la cafamarine. In 2 Coloquio Internacional sobre la Química de los Cafés Verdes, Tostados y sus Derivados. París, Francia, 3-7 de mayo, 1965. Vevey, Suiza, ASIC. p. 131-144.
- Orozco Castillo, F.J. 1989. Utilización de los híbridos triploides en el mejoramiento genético del café. In 13 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Paipa, Colombia, 21-25 de agosto, 1989. Vevey, Suiza, ASIC. p. 485-495.
- Orozco-Castillo, C.; Chalmers, K.J.; Waugh, R.; Powell, W. 1994. Detection of genetic diversity and selective gene introgression in coffee using RAPD markers. *Theor. Appl. Genet.* 87: 934-940.
- Paillard, M.; Lashermes, P.; Petiard, V. 1996. Construction of a molecular linkage map in coffee. *Theor. Appl. Genet.* 93: 41-47.

- Perrard, O. 1993. Graine sans frontières. *Géo* 176: 140-143.
- Phillips-Mora, W.; Rodríguez, H.; Fritz, P.J. 1995. Marcadores de ADN: teoría, aplicaciones y protocolos de trabajo con ejemplos de investigaciones en cacao (*Theobroma cacao*). Serie técnica, no. 252. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 183 p.
- PROMECAFE. 1996. Primer informe de actividades del proyecto regional de mejoramiento genético del café. Informe de actividades. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 95 p. Documento interno.
- _____. 1997. Segundo informe de actividades del proyecto regional de mejoramiento genético del café. Informe de actividades. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 96 p. Documento interno.
- Rakotomalala, J.J.; Cros, E.; Charrier, A.; Anthony, F.; Noirot, M. 1993. Marqueurs biochimiques de la diversité des caféiers. In 15 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montpellier, Francia, 6-11 de junio, 1993. Vevey, Suiza, ASIC. p. 47-55.
- Rodrigues Jr., C.J. 1980. Resistance to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. of some *Mozambicoffea* coffee species. In 9 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Londres, Reino Unido, 16-20 de junio, 1980. Vevey, Suiza, ASIC. p. 663-665.
- RODRIGUES Jr. C.J., BETTENCOURT A.J., RIJO L., 1975. Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Annual Review of Phytopathology* 13: 49-70
- _____; Varzea, V.M.; Medeiros, E.F. 1992. Evidence for the existence of physiological races of *Colletotrichum coffeanum* Noack *sensu* Hindorf. *Kenya Coffee* 57(672): 1417-1420.
- Stoffelen, P. 1998. *Coffea* and *Psilanthus* (Rubiaceae) in tropical Africa: a systematic and palynological study, including a revision of the West and Central African species. Tesis de doctorado. Universidad Católica de Louvain, Bélgica. 270 p.
- Tanksley, S.D. 1993. Mapping polygenes. *Ann. Rev. Genet.* 27: 205-233.
- Thomas, A.S. 1942. The wild Arabica coffee on the Boma Plateau of Anglo-Egyptian Sudan. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 10: 207-212.
- Van der Vossen, H.A.M. 1985. Coffee selection and breeding. In *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Ed. por M.N. Clifford y K.C. Willson. Londres, Reino Unido, Croom Helm. p. 48-96.

Glosario

Alotetraploide	Resultado de la unión de los gametos provenientes de dos especies diploides. El prefijo "alo" indica que lotes de cromosomas no homólogos están presentes.
Aminoácido	Constituyente de las proteínas, en particular de las enzimas que catalizan las reacciones celulares. Las proteínas guardan unos veinte aminoácidos. Su secuencia está determinada por la secuencia de las bases del AND.
Autogamia (adj.: autógeno)	Modo de reproducción que permite al polen de una planta (autopolen) fecundar sus óvulos.
Autoincompatibilidad	Imposibilidad de una planta para utilizar su polen (autopolen) para fecundar sus óvulos.
Autotetraploide	Resultado de la duplicación cromosómica de una célula diploide normal. Un autotetraploide posee cuatro lotes de cromosomas homólogos.
Duplicación cromosómica	Duplicación del número de cromosomas.
Fenotipo (adj.: fenotípico)	Conjunto de caracteres de un individuo, condicionados por su genotipo y el medio ambiente.
Gen	Segmento de ácido nucleico que contiene las regiones transcritas en ARN y las regiones reguladoras adyacentes. A cada gen se asocia una función fisiológica que contribuye a formar el fenotipo del individuo.
Genoma (adj.: genómico)	Conjunto del material nucleico hereditario (genes) de una célula.
Genotipo (adj.: genotípico)	Conjunto de la información genética (genes) de un organismo.
Grupo de ligamiento	Conjunto de loci que aparecen ligados por análisis de su transmisión hereditaria. Los genes agrupados así son generalmente vecinos en el mismo cromosoma.
Heterocigosis	Variabilidad producida por la presencia de alelos diferentes en el genoma.

Heterósidos diterpenos	Compuestos del metabolismo secundario que alteran la calidad organoléptica del café.
Introgresión (adj.: introgresado)	Transferencia de uno o varios genes de un genoma en otro, generalmente de un genoma silvestre a un genoma cultivado.
Locus (pl.: loci)	Sitio que se puede localizar en los cromosomas.
Meiosis	Etapa del ciclo sexual por el cual una célula diploide (2n cromosomas) produce cuatro células haploides (n), llamadas gametos.
Monogénico	Carácter determinado por un único gen.
Nivel de ploidía	Número de lotes de cromosomas aportado por cada progenitor. Una célula diploide contiene un lote provisto por el progenitor hembra y un lote, llamado "homólogo", provisto por el progenitor macho.
Poligénico	Carácter determinado por varios genes.
Polimorfismo (adj.: polimórfico)	Variaciones genéticas entre individuos.
Recombinación	Proceso de aparición de nuevas combinaciones de caracteres (o alelos) en una descendencia, diferentes que sus padres. La mayoría de las recombinaciones se producen por intercambios de material genético (ADN) entre las dos cromátidas de los cromosomas homólogos, durante la meiosis.
Secuenciar	Determinación del orden de nucleótidos de un ácido nucleico.
Segregación (adj.: segregante)	Separación de dos alelos de un mismo gen durante la meiosis.

Abreviaciones

AND	Ácido desoxiribonucleico
ADNcp	Ácido desoxiribonucleico cloroplástico
ADNr	Ácido desoxiribonucleico ribosómico
ARN	Ácido ribonucleico
ARNr	Ácido ribonucleico ribosómico
CBD	Antracnosis de los frutos (coffee berry disease)
CM	Centi-Morgan
MS	Materia seca
PCR	Reacción de polimerización en cadena (polymerase chain reaction)
QTL	Loci de caracteres cuantitativos (quantitative trait loci)
RAPD	ADN polimórfico amplificado al azar (random amplified polymorphic DNA)
RFLP	Polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (restriction fragment length polymorphism)
var.	Variedad botánica

CAPÍTULO 12

EL MEJORAMIENTO GENÉTICO EN AMÉRICA CENTRAL

*Benoît Bertrand**, CIRAD/IICA-PROMECAFE-ICAFE
Germán Aguilar, ICAFE, Costa Rica
Rodney Santacreo, IHCAFE, Honduras
Francisco Anzueto, ANACAFE, Guatemala

1 *Introducción*

El mejoramiento genético* es una herramienta poderosa para aumentar la productividad de los cultivos y la calidad de los productos que generan estos cultivos. Se define como la ciencia de la creación de variedades* (cultivares*). Una vez determinados los objetivos de la selección, se debe escoger la estrategia de selección que maximice la probabilidad de liberar un buen cultivar, utilizando de la mejor manera posible los recursos genéticos y los medios económicos a disposición del fitomejorador (Gallais, 1990).

Del siglo XVII hasta hoy, los objetivos de la selección del café Arábica en América Latina cambiaron para adaptarse a las exigencias de nuevas prácticas culturales y para combatir nuevas enfermedades. La expansión mundial de *C. arabica*, basada en una diversidad genética reducida favoreció la expansión paralela de parásitos graves como son la Roya (*Hemileia vastatrix*, capítulo 6) en Asia y América o la antracnosis del fruto (Coffee

* IICA. Apartado 55-2200. Coronado, Costa Rica. Fax (506) 229-4689. Correo electrónico: bertrand@catie.ac.cr

Nota: Las palabras y frases después de las cuales aparece un asterisco (*) se definen en el glosario al final del capítulo.

berry disease- 'CBD', capítulo 8), provocado por *Colletotrichum kahawae* en progreso constante en África. Recientemente, la tendencia al aumento del consumo de café de alta calidad obliga a una selección más estricta hacia la calidad del producto.

En este capítulo, el propósito es mostrar cuáles fueron las estrategias de selección empleadas en América Latina y especialmente en América Central, describir las principales variedades obtenidas y hasta donde el mejoramiento genético* puede responder a los nuevos desafíos de la caficultura del siglo XXI.

2 *Métodos y Técnicas de Mejoramiento*

2.1 *Sistema de reproducción del arábica*

El descubrimiento en los años 1940 (Krug, 1936; Krug, 1945; Carvalho y Krug, 1949) del sistema de polinización del Arábica permitió realmente empezar los trabajos de genética y luego de selección. La flor en el género *Coffea* spp es hermafrodita*. Las especies de *Coffea* son por lo general alógamas* (como es el caso por ejemplo de *C. canephora* var. Robusta) con notable excepción de *C. arabica* que es autógama*. Para esta especie, en condiciones naturales, la mayoría (85-95%) de los frutos provienen del cruzamiento* de la planta con sí misma (autofecundación). La otra parte (15-5%) proviene de polinización cruzada provocada por el viento o los insectos. Eso parece explicar por qué las poblaciones silvestres de Etiopía tienen una tasa de heterocigocis* bastante elevada.

2.2 *Método de mejoramiento*

Para las plantas que presentan tal sistema de reproducción, la forma clásica de selección es la selección genealógica* (*pedigree method breeding*, figura 12-1), donde a partir del producto de una polinización artificial (fotos 12-1a y 12-1b), se obtiene una primera generación llamada F1*. A partir de esta primera generación se sigue la selección hasta generaciones avanzadas (F7 o F8) para obtener una línea pura* (homocigótica*). La duración de una selección es de 20 a 30 años.

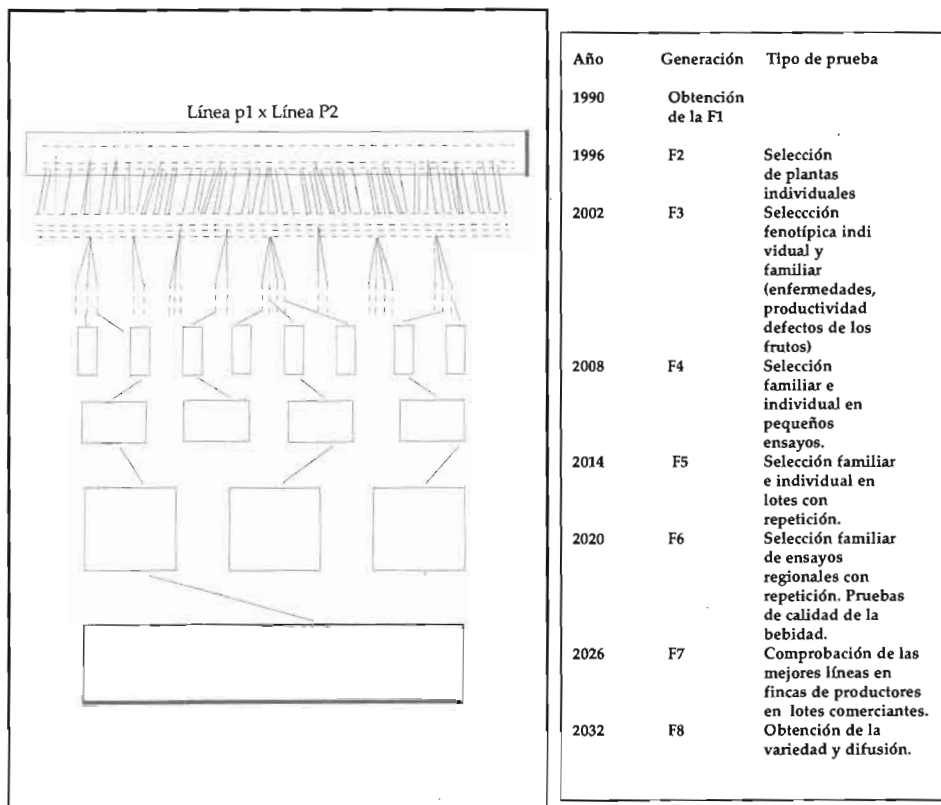
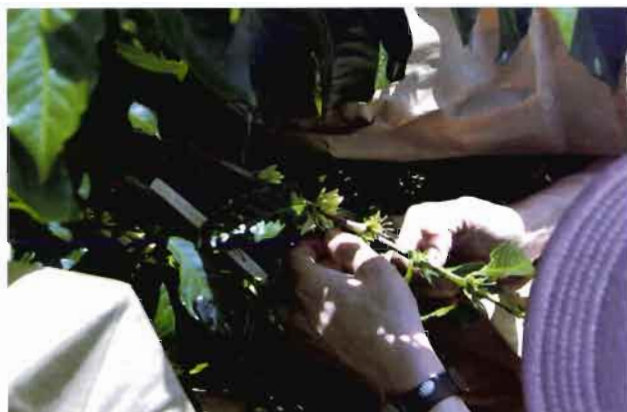


Figura 12-1. Esquema de una selección genealógica *Pedigree method breeding*, con selección a partir de la F2. Adaptado de Gallais (1990). Aplicación a la selección de una variedad de Arabica en América Central



a

Foto 12-1a. Operaciones de polinización manual. Castración (emasculación) manual de los órganos masculinos (etaminas). Las flores son castradas dos días antes de la apertura definitiva de la flor.



b

Foto 12-1b. Aislamiento de las ramas que llevan las flores castradas con bolsas de papel. Luego se procede a la polinización manual con el polen recolectado de las flores del árbol macho. La recolección del polen se hace en laboratorio sobre flores bien desarrolladas cosechadas algunas horas antes de su apertura total. El polen así recolectado puede ser conservado en tubos de vidrios tapados con algodón a una temperatura de 5-7°C en un ambiente seco durante más de dos meses. El polen es llevado sobre los órganos de la hembra (estilo) con un pincel. Se utiliza alcohol para lavar los instrumentos y las manos entre dos polinizaciones. La tasa de "polinización" (número de semillas formadas/número de flores procesadas) varía mucho en función del ambiente (temperatura) y el grado de agotamiento de la planta. En situaciones favorables alcanza un 55-65% (datos de Bertrand, 1991 a 1997).

En América Latina la selección genealógica* se aplicó según dos modalidades:

- Después de recombinación* (cruzamientos intraespecíficos*) de los caracteres de los padres (por ejemplo: el Catuai).
- Después de un cruzamiento interespecífico* seguido por uno o varios retrocruzamientos* (por ejemplo los Catimores o la variedad Icatu ver en 3.2 y 3.3).

Para otras variedades, se observó en el campo una planta mutante (caso de Caturra) y se procedió luego a una selección genealógica*. En este caso la selección es más rápida, pues se deriva de un F1 casi homocigótico que difiere de la planta que la originó (en este caso el Borbón) únicamente por el gene mutante. Del régimen de reproducción (autógama*) y del tipo de selección resulta una gran homogeneización de las descendencias* (Charrier, 1985). Es por esta razón que la mayoría de las variedades son tan homogéneas.

Otro tipo de variedad es el caso de la variedad Colombia que es una "multilínea" obtenida por mezcla mecánica de varias líneas puras*. Finalmente se está probando en Kenya y en América Central la posibilidad de crear variedades F1, cuya reproducción comercial se hará ya sea a través de micropropagación (ver capítulo 13) o por medio de machos estériles*.

2.3 Criterios de selección

El principal criterio de selección ha sido la producción, medida en kilo de cereza. La conversión en kilo de café oro se hace por medio de un ratio estimado para cada genotipo y que varía en el caso del Arábica de 16-20%. En general es suficiente observar la producción durante 4 ó 5 años consecutivos pues está bien correlacionada con la producción acumulada a 10 años. En general hay una buena correlación también con el vigor de la planta (medido por el grosor del tallo y la longitud de las bandolas). Otro criterio de selección importante es la tolerancia a la sobreproducción. Ciertos Catimores tienden por ejemplo a producir demasiado y la ramificación secundaria se muere por el exceso de carga ('die-back') (fotos 12-2a y 12-2b).

El porte pequeño que proviene del gene 'Caturra' ha sido seleccionado en todas las variedades pues permite una recolección más fácil y la siembra a altas densidades.

La resistencia a los parásitos es una prioridad. La importancia de la roya ha justificado grandes esfuerzos para crear variedades con resistencia.



Foto 12-2a. Caturra en excelente estado sanitario y de alta producción.



Foto 12-2b. Fenómeno de "die-back" o agotamiento de las ramas productivas, que se traduce por una defoliación severa o total, seguida generalmente por un ataque grave de "chasparria". Eso obliga a una poda parcial o total el año que sigue. Ciertas variedades son más susceptibles que otras. Muchas líneas de Catimores muy productivas fueron eliminadas por este motivo. Los granos cosechados sobre este tipo de rama tienden a ser más pequeños que los cosechados sobre una rama con buena foliación. Los granos afectados por "chasparria" (*Cercospora coffeicola* Berk. et Cook.) son de menor calidad (lesiones y maduración prematura).

Hoy, se trata de encontrar soluciones genéticas a los nematodos y al CBD. Consideraciones sobre los criterios de selección para la resistencia se dan en los capítulos 6, 8 y 10.

Finalmente, la calidad es un criterio de suma importancia que no ha sido suficientemente valorado en el pasado, pero que tiende a ser de suma importancia para América Central. Se puede definir como el conjunto de las características físicas, químicas y aromáticas que esperan los consumidores de manera regular (Montagnon *et al.*, 1998). La calidad del café se evalúa a partir de diferentes características sobre muestras de café oro bien beneficiado por vía húmeda que es llevado después de varias horas de secado al sol, a una humedad de 11-12%. Las características son:

1. Tamaño de los granos: Un gran tamaño es una característica atractiva para el comprador de café.
2. Un número limitado de caracoles y fruto vano². Esas características son genéticas, pero varían en función del ambiente. El fruto caracol se observa si uno de los óvulos aborta tempranamente. En ese caso se atrofia la cavidad locular y la semilla del otro lóculo se desarrolla libremente tomando una forma redondeada. El fruto vano corresponde a un aborto tardío del óvulo fertilizado. Se observa en ese caso el crecimiento del endosperma, pero no de la cavidad locular. Se traduce por frutos flotantes durante el proceso de vía húmeda. Ambos defectos tienden a disminuir la densidad aparente del café (relación café cereza/ café oro) y por consiguiente preocupan al beneficiador. Además de esos defectos, se debe mencionar los frutos triangulares y los monstruos o elefantes. La calidad en la taza de ambas semillas defectuosas no es diferente de la calidad del café normal (datos no publicados), pero si son mezcladas con el café oro normal introducen una heterogeneidad que disminuye la apreciación visual en café oro y sobre todo, impide un tostado homogéneo, lo que sin duda alguna afecta negativamente la catación. Las proporciones observadas en las variedades comerciales sirven como términos de referencia para los trabajos de mejoramiento (Castillo y Moreno, 1986).
3. Forma y color del grano. En América Central los granos deben ser bien formados (de forma ovala y no redonda), tener una fisura cerrada y un color verde-azul.
4. Homogeneidad del café tostado. En un tueste claro, no debe haber heterogeneidad de color y el grano no debe ser demasiado abierto.

2 Se aprecia sobre muestras de 100 gramos con granos superior a la zaranda 17/64.

5. Características en la taza. Se califica la fragancia del café molido, el aroma de la bebida, la acidez, el amargo, el cuerpo y la impresión global. Las escalas varían entre laboratorios. Además, cada laboratorio ha desarrollado su propio vocabulario para la descripción de las escalas (defectos y calidad). La preparación de la taza para la catación varía entre laboratorios. Entre otros, el color del tueste, la temperatura del agua, la preparación de la taza. La gran subjetividad de las pruebas organolépticas en el caso de comparación de diferentes variedades de Arábica donde las diferencias entre una muestra y otra son muy sutiles, obliga a tener dispositivos estadísticos muy estrictos (tener testigos, varias repeticiones, varios catadores). Eso no ha sido el caso en América Central, en donde los laboratorios existentes son diseñados para detectar los defectos de preparación del café que va a la exportación como son problemas de beneficiado, de secado o de almacenamiento. Por lo tanto muchas de las consideraciones que se dedujeron de los análisis de las características en la taza realizados en los laboratorios de América Central, deberían ser reconsideradas.

3 Explotación de la Base Genética Introducida en el Siglo XVIII

3.1 Variedades tradicionales seleccionadas hasta los años cincuenta

3.1.1 Los cultivares originales, el Típica y el Borbón

En el capítulo anterior se presentó la historia de la dispersión del café Arábica en el continente americano. Básicamente, dos poblaciones de café de porte alto (o "normal") se introdujeron, el Típica (o Arábigo común) y el Borbón, a partir de muy pocas semillas. La base genética y la variabilidad potencial eran por lo tanto muy reducidas.

En el sistema de cultivo que prevalecía hasta la mitad de este siglo (capítulo 1), las diferencias de productividad entre un material seleccionado y un material poco seleccionado eran débiles, y casi desaparecían en ausencia de fertilizante. Como lo subraya Castillo (1990), "la necesidad básica del cultivo de café era un cambio en las prácticas culturales, no un cambio de variedad". A pesar de algunos ensayos realizados en Brasil

(Mendes, 1939), que demostraban la superioridad de líneas seleccionadas a partir del Borbón en un sistema bajo sombra regulada y con aporte de abonos, el cambio varietal era lento y la gran mayoría de los productores seguían cultivando el Típica. A partir de los años 50, los productores empezaron progresivamente a adoptar la técnica de plena exposición solar con altos niveles de fertilizantes (Mc Cowgill, 1958; Uribe, 1958). De hecho, los resultados de la investigación fueron bastante promisorios en Brasil, Colombia y América Central. En un ensayo en varias localidades de Brasil, Carvalho *et al.* (1961), comparando diversas variedades con o sin sombra, demostraron que las diferencias de rendimiento iban de 69 a 349% en favor de la plena exposición solar. De ahí surgió el interés del cambio de material vegetal.

3.1.2 *La superioridad productiva del Borbón (Tekisisc, Nacional Salvadoreño, Híbrido Tico)*

A partir de los años 1930, se inició un programa de selección en Brasil dentro de la población del Borbón (Mendes, 1939). Las mejores líneas* seleccionadas de esta población resultaron más productivas que el Típica. Debido a la poca variabilidad de la población Típica (Castillo, 1984), y a su inferioridad productiva en comparación con las líneas* seleccionadas del Borbón, se abandonó progresivamente la selección de este material. Hoy esta variedad todavía se está cultivando en sistemas de bajo insumo y con sombra, y en la mayoría de los casos por parte de productores muy pequeños.

Dentro de la población del Borbón se destacó el Borbón Amarelo (amarillo, foto 12-3) seleccionado en Brasil que producía hasta 40% más que el Borbón Vermelho (rojo). Es probable que éste se origina de un cruzamiento* inicial entre el Borbón y el Amarelo de Botocatu (mutación del Típica) (Carvalho *et al.*, 1989). En otros países, como es el caso de El Salvador, se seleccionaron también líneas de Borbón más productivas (Tekisisc). Actualmente la siembra de este tipo de café de porte alto se mantiene en varios países, en sistemas bajo sombra y a veces con un buen nivel de intensificación como es el caso en El Salvador o Guatemala por ejemplo. En el caso del Híbrido Tico (llamado también Borbón Salvadoreño), Pérez (1997) reporta la hipótesis que estas dos variedades provienen de cruzamientos espontáneos entre el Típica y el Borbón.



Foto 12-3. Frutos amarillos (mutación observada en variedades Borbón y Caturra y transferidas a ciertas líneas de Catuai, Icatu o Catimores). Según Moreno *et al.* (1995), los componentes de la variedad “Colombia” que tienen tal característica poseen una calidad en la tasa ligeramente inferior, porque es más difícil de distinguir al momento de la recolección entre un fruto bien maduro y un fruto no muy maduro.

3.2 *Las variedades mejoradas provenientes de la base tradicional (1950-1980)*

3.2.1 *La reducción del porte de la planta*

En los años 1935, se descubrió en Brasil un árbol de porte pequeño, en una población de Borbón. La variedad que se creó a partir de este individuo fue llamada Caturra (ver más abajo). El porte pequeño permite cosechas más fáciles y densidades de siembra más altas. El gene que controla este factor es dominante y se la llama ‘gene Caturra’, Carvalho (1991). Desde entonces, la mayoría de las nuevas variedades son de porte pequeño pues se le ha transmitido el gene ‘Caturra’.

3.2.2 *Relación entre variedades y nuevos sistemas del cultivo*

Con el uso generalizado de la plena exposición solar en los años 60 y 70 en Colombia y Costa Rica, se evidenció que las densidades de siembra

deberían ser aumentadas (Campos, 1998). En un sistema de alta densidad (más de 4000 plantas/ha), las variedades de porte pequeño como el Caturra son las más productivas (cuadro 12-1). Este cambio se dio en Colombia, en Costa Rica y en menor escala en los demás países del Istmo, en la misma época, pero según ritmos que variaron entre países, en función de factores edafoclimáticos y socio económicos. Según Castillo (1990), en Colombia, la variedad Caturra tuvo el importante papel de "catalizador" de nuevas prácticas culturales. Esta idea se aplica también en el caso de América Central en ciertas regiones favorables, en donde el cultivo de la variedad Caturra (Pacas) asociado con una densidad de siembra elevada y una fertilización apropiada permitió alcanzar productividades muy elevadas. Sin embargo, en Guatemala, Nicaragua, Honduras y El Salvador, muchos productores no adoptaron los cultivares de porte pequeño ya sea porque pensaba que se iba a deteriorar la calidad del café o porque las condiciones edafoclimáticas o económicas requerían mantener mucha sombra, por lo que no se podía valorar las altas densidades.

A continuación se da una rápida descripción de los principales cultivares seleccionados a partir de la base tradicional (Jorge León, 1962; Carvalho 1991; Fazuoli, 1985). La genealogía de estos cultivares se resume en la figura 12-2.

Cuadro 12-1. Producción relativa (%) de tres variedades por tres densidades, calculada sobre la base de la producción promedio de cinco cosechas en Costa Rica, en relación con la producción de la variedad H33, base 100 (adaptados de informes de labores del ICAFE, Costa Rica).

VARIETADES	Producción relativa en relación con la densidad (%)		
	3200 pl/ha	4200 pl/ha	6300 pl/ha
CATURRA	98.5	123	125
MUNDO NOVO	114.2	112	109
H33	100 (2660)*	100 (2620)*	100 (3000)*

* Producción observada en kg. de café oro/ha.

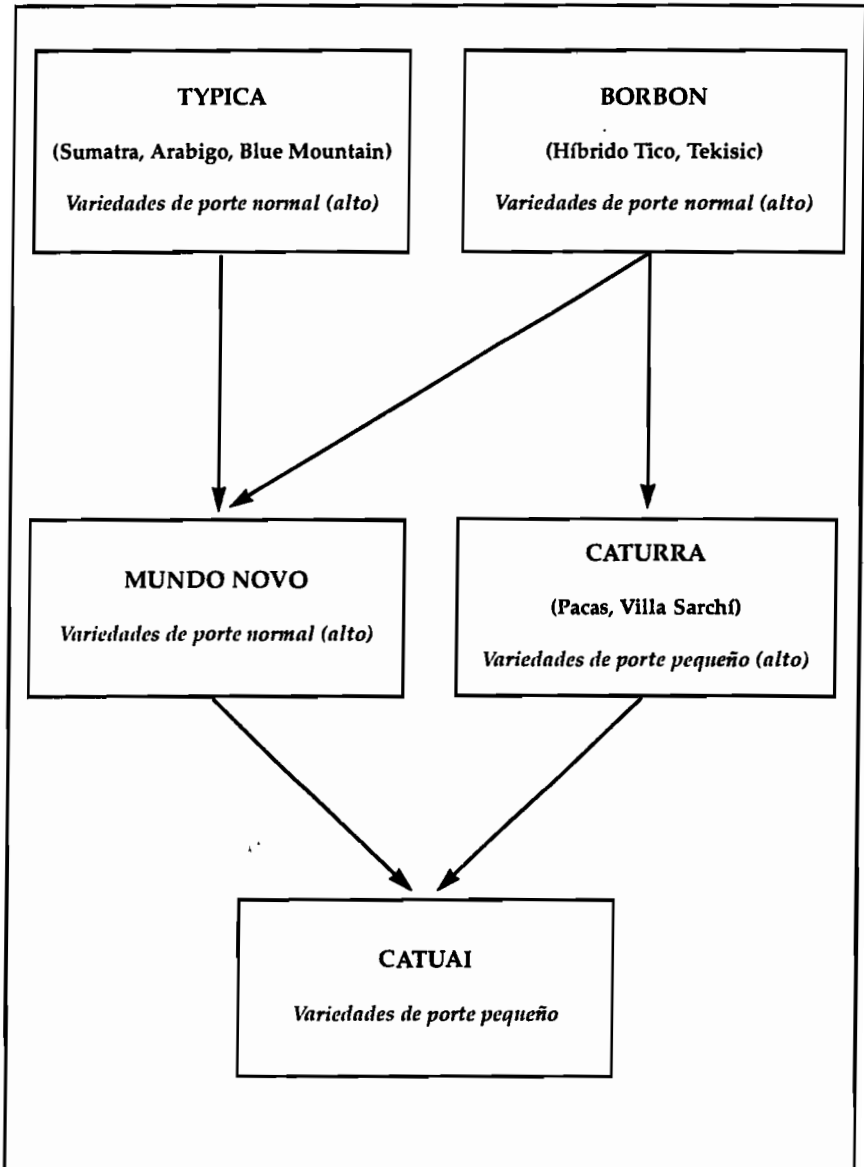


Figura 12-2. Genealogía de las principales variedades tradicionales (dos flechas hacia un mismo destino indican un cruzamiento, una flecha indica una mutación).

3.2.3 El Caturra (Pacas, Villa Sarchí)

El gen Caturra es un gen de enanismo que reduce el tamaño de la planta (entrenudos cortos) y se caracteriza por un sistema radical más pequeño y por lo tanto menos difuso. Se sospecha que es una de las razones por la cual responde a altas dosis de abonos. La mutación apareció en la población Borbón (Carvalho, 1991), por lo que muchas de sus demás características son muy parecidas. En sistema de altos insumos y de plena luz, es una variedad muy productiva. Es actualmente la variedad más sembrada en América Central. En Brasil, debido a las condiciones de cultivo y edafoclimáticas, produce menos que el Mundo Novo de porte alto. En Colombia es la variedad más común, pero tiende a ser sustituida por la variedad Colombia (sección 4-4 de este capítulo). El Pacas, que es una variedad muy utilizada en El Salvador y en Guatemala, y el Villa Sarchí (llamada también la Luisa o Villalobos Borbón) que se sembraba en Costa Rica en los años 50-60 son genéticamente comparables al Caturra, pues todos derivan de la población del Borbón y tienen el mismo gene del enanismo (Carvalho, 1991).

3.2.4 El Mundo Novo (H33)

Este cultivar de porte alto apareció en un campo en Brasil. Viene probablemente de un cruzamiento* natural entre Típica (Sumatra) y Borbón rojo (Fazuoli, 1985). La recombinación* de las características de sus padres y la selección genealógica* (4-5 generaciones) de las mejores líneas* han producido una planta muy vigorosa, productiva y bastante rústica, pero que también se adapta a sistemas de alta tecnología. En Brasil, es la variedad más común (50%) porque produce hasta un 50% más que el Borbón Amarillo. En América Central y Colombia, las líneas* introducidas producen igual que el Borbón y menos que el Caturra en sistemas de altas densidades (cuadro 12-1), por lo que se abandonó. Actualmente pocas áreas están sembradas con esta variedad. La variedad H33, que fue cultivada en Costa Rica hasta los años 1980, proviene probablemente de un cruzamiento* entre Típica y Borbón y como tal, es genéticamente muy cercana al Mundo Novo.

3.2.5 El Catuai

La selección de la variedad Catuai resultó de un programa de recombinación y selección que empezó en Brasil (IAC) en 1949 (Fazuoli, 1985).

Esta variedad proviene del cruzamiento artificial entre el Mundo Novo y el Caturra amarillo. Se trataba de introducir (introgresar) a la variedad Mundo Novo el gene del enanismo del Caturra (Carvalho, 1991). En la segunda generación empezó la selección por características productivas y por el porte bajo. La liberación del Catuai empezó en F5, pero la selección continuó hasta la generación F7 o F8. Varias líneas fueron producidas. En sistemas tecnificados de América Central, esta variedad da rendimientos similares o un poco superiores al Caturra. En Costa Rica, el Catuai produce alrededor de 8 a 15% más que el Caturra (informes del ICAFE, 1973-1989), y se recomendó su cultivo (Campos, 1987). Actualmente, es una variedad relativamente común en toda América Central. En realidad, en América Central, el Catuai no parece introducir un cambio muy drástico en relación con el Caturra. En México, la variedad Garnica se seleccionó a partir de un esquema similar, y se puede considerar como semejante al Catuai.

3.3 Ventajas e inconvenientes de las variedades tradicionales

Con la selección y la posterior liberación del Catuai, se terminó la era de la explotación de la base genética introducida en América Central desde el siglo XVIII a la primera mitad del siglo XX. Con la excepción del Catuai que resulta de un esfuerzo real por recombinar las características deseables de dos padres bien conocidos, todas las demás variedades resultan del mejoramiento de la población existente (Borbón), del mejoramiento de cruzamientos espontáneos (Mundo Novo), o bien de la selección a partir de una mutación (Caturra, Pacas) .

3.3.1 Ventajas de las variedades tradicionales

Con la excepción de la variedad Típica, las principales variedades descritas anteriormente se caracterizan por tener una alta productividad (González y Gutiérrez, 1978) y una buena adaptación a la luminosidad. En América Central, las variedades de porte alto (Borbón, Mundo Novo) se recomiendan para sistemas de cultivo bajo sombra regulada a densidades de 2000 a 3500 plantas/ha, mientras el Caturra o el Catuai se cultivan bajo sombra regulada o sin sombra con altas densidades de siembra (de 4000 a 7000 plantas/ha).

El tamaño del grano tiene cierto valor comercial. El grano del Típica es más largo que el grano del Borbón. Castillo (1984), reporta que el Borbón tiene un 65% de grano mayor a las 17/64 pulgadas contra 81% para el Típica. Las variedades Mundo Novo, Caturra y Catuai se acercan a la variedad Borbón. En un estudio realizado por Figueroa (1997) en Guatemala, se nota que el Borbón posee granos ligeramente más grandes que el Caturra, el cual es más grande que el Catuai. Sin embargo, se han obtenido resultados contrarios en Costa Rica en donde el Catuai parece tener un grano de mayor tamaño que el Caturra (observación del ICAFE de Costa Rica). En realidad, el tamaño del fruto depende mucho de la nutrición del árbol, de su estado de agotamiento y de su carga. Si el agotamiento es pronunciado o si la cosecha es abundante, el tamaño del grano tiende a ser más reducido (Bertrand, datos sin publicar). Los defectos del grano para ambas variedades oscilan entre 5 a 12% para los caracoles, y 0 a 12% para los frutos flotantes (fruto vano).

La calidad del café es muy discutida. Aunque no se ha probado formalmente, muchos compradores de café indican que el Típica o el Borbón son superiores a todas las demás variedades en cuanto a la calidad en la taza y en cuanto a la presentación física de los granos (Lingle, 1995). En realidad, estas variedades se cultivan casi exclusivamente bajo sombra y muchas veces se han hecho comparaciones con Caturra o Catuai cultivado sin sombra. En un estudio realizado en 1995, Guyot *et al.* (1996) demostraron que la altitud y la sombra son dos factores que mejoran la calidad de las variedades Borbón y Catuai. No obstante, para el Catuai la altitud desempeñaría un papel más importante que para el Borbón. Finalmente, estos autores no pueden concluir en cuanto a la superioridad de uno sobre el otro. Figueroa (1997), a partir de un estudio similar, encuentra una notable inferioridad de la variedad Catuai y reacciones muy similares del Caturra y del Borbón. Llama la atención el hecho que se considera Típica \geq Borbón \geq Caturra \geq Catuai para la calidad, cuando la clasificación para la productividad en América Central es exactamente inversa. Como lo subrayan Guyot *et al.* (1996), las observaciones sobre calidad deben ser ponderadas con el rendimiento, lo que nunca ha sido el caso. De manera general, los estudios sobre la calidad deberían tomar en cuenta el estado fisiológico de la planta, como por ejemplo la influencia de la relación hojas/fruto sobre la composición bioquímica del grano. En otros términos se puede formular la hipótesis de que no hay diferencias genéticas muy importantes en lo que se refiere a la calidad entre estas variedades, sino que las diferencias observadas se deben a niveles productivos diferentes y estados fisiológicos diferentes. En todo caso se considera que todas esas

variedades tienen un alto nivel de calidad y corresponden a un estándar reconocido internacionalmente. Eso tiene como corolario que cualquier nueva variedad debe alcanzar ese estándar.

3.3.2 *Desventajas de las variedades tradicionales*

Debido a la base genética estrecha producto de la historia de la introducción, la principal desventaja de las variedades tradicionales es su homogeneidad genética. Se traduce en particular por una ausencia de resistencia a las grandes enfermedades y plagas que afectan la caficultura mundial. Ninguna de estas variedades es resistente a la roya y todas son susceptibles a los nematodos que afectan el café en la región y al CBD (capítulo 8).

4 *Explotación del Híbrido de Timor*

La llegada de la roya y su importancia económica para todos los países del Istmo se comentan en el capítulo 6. En el género *Coffea* existe resistencia genética a esta enfermedad. Sin embargo, todas las variedades tradicionales son susceptibles. Debido al alto costo que representa el control químico de esta enfermedad y a la posible contaminación del medio ambiente que su uso conlleva, se contempló la posibilidad del uso de la resistencia genética. Los principales logros se obtuvieron utilizando el Híbrido de Timor como progenitor mediante una estrategia de selección que se describe en el acápite 4.1. Después de varios años de selección (1970-1995) se obtuvieron diferentes variedades que están descritas en el acápite 4.2.

Además de tener varios genes de resistencia a la roya, el Híbrido de Timor presenta resistencia a otras enfermedades y plagas. A partir de 1989, se empezaron nuevas selecciones considerando la posibilidad de obtener variedades con resistencia simultánea a la roya, a los nematodos y al CBD.

4.1 *Selección para la resistencia a la roya (1972-1995)*

4.1.1 *Naturaleza de la resistencia*

Existen básicamente dos tipos de resistencia (capítulo 6): la resistencia completa que se traduce por una ausencia de síntomas y que es controlada

por genes mayores (Noronha-Wagner y Bettencourt, 1967; Rodríguez, 1975) y la resistencia incompleta que se traduce por una penetración retardada, una esporulación reducida y finalmente por una baja incidencia del hongo sobre la planta (Eskes, 1983; Leguizamón, 1983; Fagioli, 1990; Holguín, 1993). Esta última resistencia es todavía poco conocida y resulta difícil de evaluar, por lo que los trabajos de selección se han enfocado en la resistencia completa. Los estudios realizados por el CIFC de Portugal, han permitido el descubrimiento de más de 30 razas de roya. Por lo menos seis genes dominantes de resistencia (SH1 a SH6) se conocen en el género *Coffea* (capítulo 6), que corresponden a seis genes de virulencia de la roya que anulan los genes correspondientes de la resistencia del cafeto (Carvalho, 1988). En 1980, Bettencourt y López sugirieron la existencia de 3 genes de resistencia suplementarios (SH7 a SH9).

4.1.2 Estrategia de selección para la resistencia a la Roya en América Central

El objetivo de la selección es la obtención de una resistencia durable, es decir que permanezca efectiva por lapsos prolongados en grandes áreas de cultivo con ambiente favorable a la enfermedad (Jonhson, 1984). En América Central, se pretende introducir el número más grande posible de genes mayores (dominantes) en una variedad homocigota (línea pura). La durabilidad de esta resistencia se basa en la dificultad para el hongo de desarrollar simultáneamente genes de virulencia a varios *loci** (Eskes, 1989).

En la especie *C. arabica* los genes de resistencia que existen no revelaron ser suficientemente eficaces para mantener una resistencia durable (Carvalho, 1975; Eskes, 1983; Muller, 1984). Por consiguiente se buscó otras fuentes de resistencia. La fuente más valiosa por su facilidad de uso ha sido el Híbrido de Timor. Esta población resulta probablemente del cruzamiento natural entre las especies *C. arabica* y *C. canephora* (Moreno, 1989). El germoplasma disponible del Híbrido de Timor proviene de prospecciones en la isla de Timor, realizadas por el CIFC (Portugal). A partir de 1972, a través de diferentes intercambios con el CIFC, Brasil y Colombia, y luego a partir de 1978 con la cooperación con PROMECAFE, los países de América Central introdujeron varias descendencias de los tres orígenes de Híbrido de Timor, CIFC 832/1, CIFC 832/2, CIFC 1343 (figura 12-3). Todos estos orígenes tienen alta resistencia contra la roya. El CIFC 832/1 da origen a los Catimores (de los cuales se seleccionó la variedad Costa Rica 95 y el IHCAFE90). Del cruzamiento del CIFC832/2 con la variedad Villa Sarchi se originan los Sarchimores, y por fin el CIFC 1343 cruzado con el Caturra da origen a la variedad Colombia y a selecciones del Instituto Agronómico de Campinas.

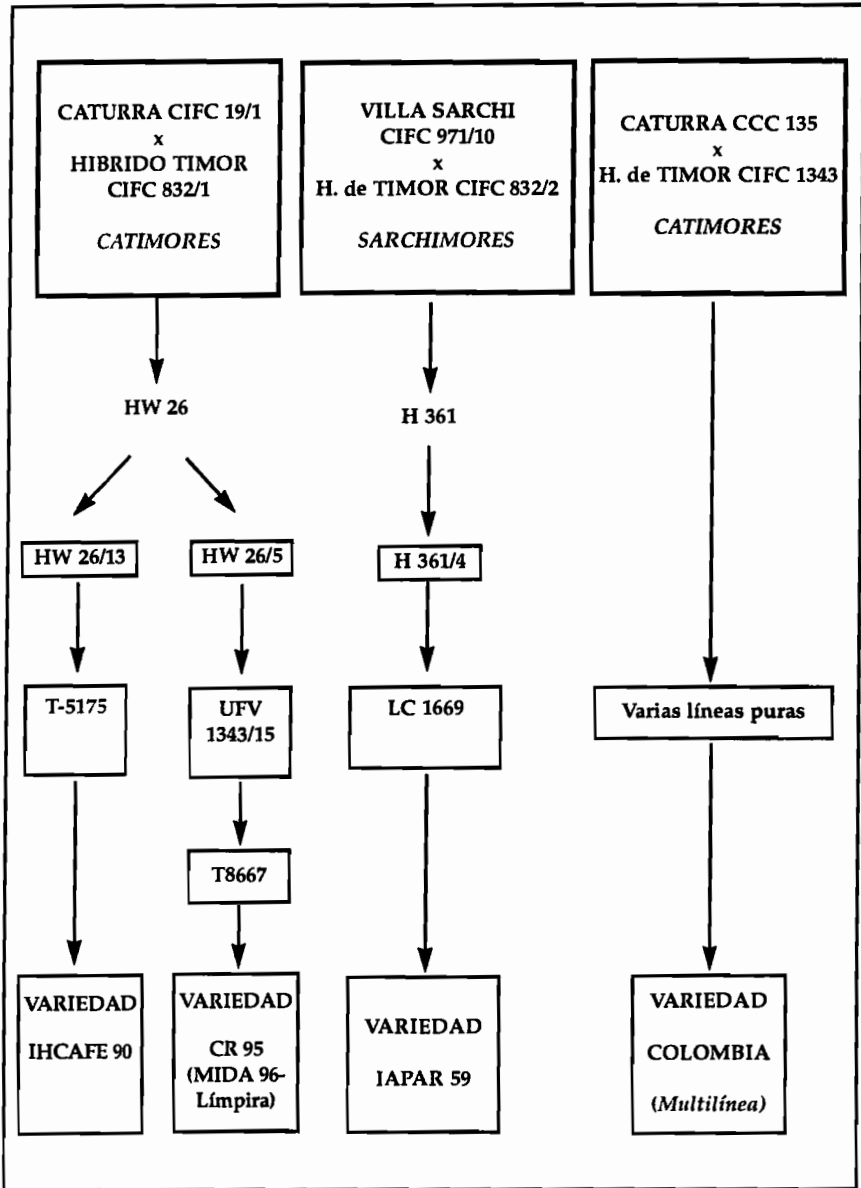


Figura 12-3. Genealogía de las principales variedades derivadas del Híbrido de Timor.

Muchas plantas que derivan del Híbrido de Timor son resistentes a todas las razas de roya conocidas por lo que se clasifican en un grupo fisiológico llamado grupo A. En América Central, para asegurar una resistencia durable, se decidió seleccionar únicamente plantas de este grupo.

A partir de 1978, decenas de ensayos se montaron primero en el CATIE (Echeverri & Fernández, 1989) y luego en los diferentes países miembros de PROMECAFE. La mayoría de las líneas fueron introducidas en F3 o F4. De 1983 a 1986, llegaron del Brasil y Portugal varias descendencias en generación F4 a F6 de retrocruzamientos con variedades comerciales: Catimor, Cavimor (Catuai x Catimor), Sarchimor o Cachimor (Catuai x Sarchimor).

Después de 1986, llegaron líneas de la variedad 'Colombia' y líneas de Sarchimor. Del material genético introducido en 1972 y luego a partir de 1978 se seleccionaron varias líneas (Echeverri y Fernández, 1989). Por lo general, en esta primera etapa los materiales derivados del CIFIC832/1 fueron los más adaptados a las condiciones de América Central. Sin embargo, se notó una tendencia a un agotamiento prematuro de las plantas cuando las prácticas culturales o las condiciones climáticas no eran óptimas (Echeverri y Fernández, 1989).

Después de 12 años de selección genealógica, se liberó en Honduras la primera variedad Catimor con alta resistencia a la roya, el IHCAFE90 (Instituto del café de Honduras, 1990). En 1995, Costa Rica liberó otro Catimor, la variedad Costa Rica 95 (CR95). Recientemente se liberaron las variedades MIDA96 (en Panamá) y Lempira 98 en Honduras, las cuales son casi idénticas a la CR95.

4.2 Descripción de las variedades 'Catimores' liberadas en América Central

4.2.1 La variedad IHCAFE90 (Catimor T5175)

Esta variedad (foto 12-4), liberada en 1990 en Honduras, se obtuvo de la evaluación y selección de descendencias de café provenientes del CIFIC 832/1 con el Caturra (F1, Caturra 19/1 x CIFIC 832/1). PROMECAFE introdujo varias descendencias a partir de 1979 de las cuales, en Honduras se identificó la introducción IHC-152, descendencia* T5175 (F3 de CIFIC Hw26/13) que posteriormente dio origen a la variedad IHCAFE90. En

Costa Rica una variedad parecida, pero quizás más heterogénea fue liberada bajo el nombre de T5175 por la empresa Tecnicafe, quien la difundió en todos los países de Centroamérica. En Nicaragua, la variedad Catrenic es bastante cercana genéticamente al T5175.

La variedad se caracteriza por su uniformidad en el porte bajo, hojas anchas de color verde oscuro, brotes bronceados y frutos rojos, ramas largas con entrenudos cortos. Se recomienda para alturas arriba de los 1000 msnm. Se caracteriza por su alta precocidad con un descenso hacia el cuarto o el quinto año. Se ha evidenciado que esta precocidad conlleva exigencias nutricionales altas, lo cual es un elemento importante que los pequeños productores tienen que considerar. En el sistema de Honduras, se recomienda manejarla bajo sombra regulada. Se ha observado mayor incidencia del Ojo de Gallo con relación a los cultivares Caturra y Catuai en zonas húmedas y sombreadas. En Guatemala como en Honduras, bajo ciertas condiciones (déficit hídrico durante la floración) se ha reportado un porcentaje elevado de frutos negros (disturbio de orden fisiológico).

En condiciones adecuadas la variedad produce alrededor de 30% más que el Caturra y 20% más que el Catuai en las condiciones de Honduras (cuadro 12-2). En Costa Rica, con altas densidades, las diferencias productivas son respectivamente de 20 y 22% en promedio, con ensayos en nueve localidades (cuadro 12-3).

4.2.2 *La variedad COSTA RICA 95 (MIDA 96, Lempira 98)*

La variedad Costa Rica 95 (foto 12-5) (Aguilar, 1995) es producto de la selección realizada por el Icafé de Costa Rica a partir de la serie T8600 introducida y evaluada en el CATIE por PROMECAFE en generación F5. La variedad Costa Rica 95 es de porte pequeño con brote bronceado y de bandolas muy cortas por lo que se puede sembrar con las mismas densidades de siembra que el Caturra. Es una variedad que produce entre 25 y 35% más que las variedades Caturra o Catuai según la zona (cuadros 12-2 y 12-3). Para mantener los altos rendimientos, requiere de una fuerte fertilización, si no se agota a partir del tercer año de producción. El grano es más grande (se acerca al Típica) y supera un poco el tamaño del T5175 o del Catuai y significativamente el tamaño del Caturra (respectivamente: 67.90% contra 65.17%, 63.30% y 53.99% sobre un tamiz de 17/64 pulgadas). Tiene un poco más caracoles que el Caturra, pero igual que el Catuai (alrededor de 6 a 10% en promedio de varias zonas). Su alta resistencia a la roya la hace recomendable principalmente para las zonas donde existe una mayor incidencia de roya.



Foto 12-4. Catimor, variedad T5175 de tres años. Variedad resistente a la roya, muy productiva, pero probablemente de calidad en la tasa inferior al estándar Caturra en las condiciones de América Central.



Foto 12-5. Catimor, variedad Costa Rica 95 (MIDA 96, Lempira). Variedad resistente a la roya, muy productiva, pero probablemente de buena calidad en la tasa (ligeramente inferior o igual al estándar Caturra en las condiciones de América Central).

Cuadro 12-2. Producción media de seis cosechas para dos ensayos en kg de café oro/ha. Los Linderos, IHCAFE, Honduras. (Santacreo, 1996).

Material vegetal	Ensayo 1	Ensayo 2	% en relación con el Catuai
IHCAFE90	6122	-	122.5
T8667	-	4577	140.7
CATUAI	5000	3253	100
CATURRA	4460	3162	-

Cuadro 12-3. Producción promedio de cuatro cosechas de cuatro variedades en nueve localidades de Costa Rica (producción en kg café oro/ha) (Aguilar, 1998).

Material vegetal	Producción	% en relación con el Caturra
Costa Rica 95	3019 A	130
T5175 (IHCAFE90)	2810 A	121
Caturra	2326 B	100
Catuai	2288 B	98

Es importante destacar aquí que tanto Costa Rica 95 como IHCAFE90 no presentan resistencia al CBD ni a los nematodos (*Meloidogyne spp* y *Pratylenchus spp*), (Rodríguez, 1992; Bertrand *et al.*, 1995; Anzueto, 1993). En Honduras, Santacreo (com. pers.) ha notado una mejor adaptación de los Catimores en suelos ácidos o con exceso de aluminio.

4.2.3 T5269

A partir de materiales enviados por PROMECAFE en los años 1979-80, se efectuaron en Guatemala selecciones masales en diferentes fincas donde se establecieron lotes comerciales de un origen de Catimor llamado T5269. A pesar de su heterogeneidad en arquitectura y porte, estas poblaciones presentan una resistencia total a la roya, un buen vigor y rendimientos comparables a Catuai. Se ha observado en estas poblaciones una mayor susceptibilidad al Ojo de Gallo.

4.3 *La continuación de la selección de los derivados del híbrido de Timor en América Central por la resistencia a la roya, el CBD, los nematodos (1992–...)*

Se eliminó una gran parte de todo el material genético resistente a la roya introducido por PROMECAFE, por no corresponder a los estándares de la región. Es así como la mayoría de los materiales provenientes de retrocruzamientos se ha eliminado (Cachimor, Cavimor, Mundomor). Sin embargo, algunos materiales provenientes de la variedad Colombia, de los Sarchimores o de selecciones de Brasil mostraron resistencia no solamente a la roya sino también a los nematodos y al CBD. Una nueva selección empezó en 1989 y continúa actualmente.

4.3.1 *Resistencia al CBD y a los nematodos*

El híbrido de Timor presenta cierta resistencia al CBD (Van der Vossen y Walyaro, 1980), por lo que ciertas descendencias pueden presentar resistencia. En estudios realizados en el CIRAD (Bompard, 1994), se demostró que algunas líneas presentan resistencia contra varias cepas del hongo. En el cuadro 12-4, se presentan las líneas más interesantes.

Se ha probado que el Híbrido de Timor presenta resistencia a ciertos nematodos (Fazuoli y Lourdello, 1981; Gonçalves y Ferraz, 1987). Estudios realizados en América Central, demuestran que en el caso de *M. exigua* (el más común en Costa Rica, Nicaragua, Honduras), la resistencia es muy frecuente en los Catimores o Sarchimores o en los componentes de la variedad Colombia (Bertrand *et al.*, 1997) (ver , por ejemplo, el cuadro 12-5). Es probablemente de tipo dominante.

Cuadro 12-4. Comparación de las variedades por el coeficiente de susceptibilidad con diferentes cepas de *Coletotrichum coffeanum*. 675A, 732A cepas de Camerún, KHWIB cepa de KENIA, 042.1A cepa de Burundi, M2 cepa de Malawi, ZW1 cepa de Zimbabwe. Escala de 0-100, con 100 totalmente susceptible y 0 totalmente resistente. Un coeficiente de 100 corresponde a una gran susceptibilidad, uno de cero significa una alta resistencia. El coeficiente se evalúa sobre 20 plántulas (Bertrand *et al.*, 1997).

Variedades	675A	732A	KHW1B	042.1A	M2	ZW1
Catuai, testigo	97	96	84	88	27	80
Caturra, testigo	100	100	-	54	86	-
Catimor T18121	86	96	50	15	47	58
Catimor T18123	47	100	4	7	0	12
Catimor T18130	100	97	9	91	60	-
Sarchí T18140	-	97	-		2	-

Cuadro 12-5. Resistencia a nematodos *Meloidogyne exigua* de cinco Catimores y del Caturra. La resistencia se evalúa por la presencia de agallas. Una planta sin agalla es considerada como resistente. El porcentaje de planta se calcula a partir de 25 plantas (Bertrand *et al.*, 1997).

Variedades	Resistentes (porcentaje)	Susceptibles (porcentaje)
T17933 B2 A1	100	0
T18123 B4 A1	96	4
T17940 B2 A4	100	0
T17933 B2 A2	100	0
T8667 (CR95)	0	100
CATURRA	0	100

4.3.2 Posibles futuras variedades

a) *Sarchimor T5296*

Esta variedad (foto 12-6) proviene del cruzamiento entre Villa Sarchi 971/10 y CIFIC 832/2. La generación F2 fue llamada LC 1669 por el IAC. Entró en América Central en generación F3. Se está seleccionando en Honduras. Las líneas T5296-170 y T5296-184 presentan uniformidad de porte (bajo), una productividad igual a la del Caturra y resistencia a *M. exigua*. Sus brotes son de color verde oscuro. En Costa Rica, ciertas plantas fueron enviadas al CIFIC para ser probadas en cuanto a la resistencia al CBD. Varias plantas mostraron altos niveles de resistencia a ciertas cepas del hongo (Rodríguez, 1993).

b) *La variedad 'IAPAR 59'*

Tiene el mismo origen que la variedad T5296. Se introdujo en Brasil, desde Portugal, en generación F3. Luego el instituto de Paraná de Brasil la seleccionó y la liberó a partir de 1993. Como la variedad Costa Rica 95, 94% de las plantas son del grupo A y 6% son resistentes a 29 razas de



Foto 12-6. Sarchimor, T5296. Variedad en curso de selección en Honduras, promisoría por el tamaño del grano.

roya. Además esta variedad tiene una alta resistencia a *M. exigua* (Bertrand *et al*, 1998). Actualmente se evalúan en Costa Rica su productividad y su calidad.

c) *El Icatú*

El Icatu es originario del cruzamiento de *C. canephora* (con número de cromosomas duplicado) con *C. arabica* (Borbón). Luego fue retrocruzado con el Mundo Novo o, para algunos orígenes, con el Catuai amarillo. Es resistente a la roya y considerado fuente de resistencia al CBD y a varios nematodos. Cuatro líneas (F5) fueron introducidas en Honduras (1989, a través de PROMECAFE). Los primeros resultados muestran que ciertas líneas* podrían constituir una buena alternativa a las variedades Catimores.

Finalmente, es importante citar como posible candidato a una difusión el Catimor T18123, buen productor, resistente a la roya y a varias cepas del CBD.

4.4 Ventajas y límites de los Catimores

Aunque faltan evaluaciones del material derivado del Híbrido de Timor, se llega casi al final de un proceso de selección que empezó en los años 70 en el caso de América Central y ya se pueden adelantar ciertas conclusiones.

4.4.1 Influencia del origen del Híbrido de Timor sobre las principales características agronómicas de los Catimores

Las variedades liberadas en América Central como en Colombia o en Brasil responden a los requisistos de sistemas altamente tecnificados. Todas son de porte bajo y se adaptan al cultivo a plena luz o con sombra regulada. En un trabajo reciente (Bertrand *et al.*, 1997) se compararon en cuanto a productividad, defectos de los granos y granulometría, 36 líneas* bien seleccionadas de Catimores y Sarchimores que provienen del CIFC 832/1, CIFC 832/2 y CIFC 1343 con los testigos Caturra y Catuai. En promedio, no se notaron diferencias entre los testigos y los derivados del Híbrido de Timor en lo que se refiere a frutos vanos y tamaño del grano. Los derivados del Híbrido de Timor tienden a producir un poco más de

caracoles. Además, no se obtuvo diferencia significativa de productividad entre los Catimores, los Sarchimores y los derivados de la variedad Colombia (cuadro 12-6), pero si se obtuvieron diferencias significativas de ambos materiales en relación con los testigos.

4.4.2 ¿Por qué producen más los derivados del HdT?

Aguilar *et al* (1995) sugieren que gran parte de la superioridad productiva de los derivados del Híbrido de Timor bien seleccionados proviene en primer lugar de resistencia a la roya y en segundo lugar (en las condiciones del estudio), de la resistencia a los nematodos *M. exigua* (cuadro 12-7).

En Colombia, se reporta una superioridad productiva de más de 25% en promedio de la variedad Colombia en relación con el Caturra. Esta superioridad estaría relacionada con la resistencia a la roya (Sierra Sanz, 1995; Moreno, com. pers.). En las dos mejores variedades CR95 y IHCAFE90 de América Central, también se puede formular la hipótesis de que además de la resistencia a la roya, la superioridad proviene de la fijación, por medio de la selección, de una parte del vigor híbrido o de características interesantes del Híbrido de Timor. Parece ser el caso de un mayor número de frutos por nudo CR95 o de un mayor vigor vegetativo por IHCAFE90.

Cuadro 12-6. Comparación de los orígenes del Híbrido de Timor con los testigos Caturra y Catuai, en dos ensayos, de la producción acumulada de cuatro y cinco cosechas respectivamente, CICAPE, Heredia, Costa Rica. Producción en kg café oro/ha (Bertrand *et al.*, 1997).

Ensayos	Origen	Nombre común	Número de líneas	Producción	% de producción con los testigos
Ensayo 1	CIFC 832/2	Sarchimor	7	16453 a	124
	CIFC 832/1	Catimor	5	15 485 a	117
	TESTIGOS		2	13 208 b	100
Ensayo 2	CIFC 1343	Colombia	16	15 006 a	123
	TESTIGOS		2	12 183 b	100

Cuadro 12-7. Comparación de la producción de cuatro grupos de líneas, constituidos en función de la resistencia a la roya y al nematodo *M. exigua*; grupo 1= resistente a la roya y al nematodo, grupo 2 = resistente a la roya y en curso de segregación por la resistencia al nematodo, grupo 3 = resistente a la roya y susceptible al nematodo, grupo 4 = susceptible a la roya y al nematodo (Aguilar *et al.*, 1997).

Grupo de variedades	Producción acumulada (cuatro cosechas) en kg de café oro/ha	En % del grupo 4
grupo 1	17 136	125
grupo 2	16 794	122
grupo 3	15 712	115
grupo 4	13 720	100

4.4.3 La durabilidad de la resistencia a la roya

La resistencia a la roya es la gran ventaja de los Catimores, pero ¿cuánto tiempo se mantendrá esta resistencia? Si se comparan las estrategias de selección para la resistencia a la roya que se escogieron en Colombia y en América Central, se notan grandes diferencias en sus conceptos básicos.

En Colombia, a partir de 1983, se liberó la variedad Colombia. Esta variedad está compuesta por más de 40 líneas (variedad multilíneas) con un 77% mínimo que pertenecen al grupo A, un porcentaje menor del 1% de plantas susceptibles (grupo E), mientras que el resto se reparte en los demás grupos fisiológicos (Castillo, 1992). Según sus creadores (Castillo y Moreno, 1986), esta diversidad genética garantiza una resistencia durable y estable porque crea una diversidad que debería disminuir la presión selectiva sobre el patógeno. La desventaja de este tipo de selección es que hay una cierta heterogeneidad (aunque poco importante) en algunas características importantes como son el tamaño de la planta, el tamaño del grano, la calidad de la bebida o los defectos de los granos, (Castillo y Moreno, 1986; Moreno *et al.*, 1995). Para remediar estos problemas,

posteriormente, CENICAFE seleccionó más de 50 candidatos nuevos que presentan todos una alta resistencia a la roya y características semejantes al Caturra (Moreno, com. pers.) por lo que se está homogeneizando la variedad a corto y mediano plazo. Al mismo tiempo, se reduce probablemente su diversidad genética.

En América Central, desde el inicio, se valoró en igual forma la resistencia a la roya y las características fenotípicas del árbol. Eso tuvo como consecuencia una fuerte intensidad de selección y llegó a la liberación casi exclusiva de dos variedades (IHCAFE90, Costa Rica 95). Debido a su homocigocis en cuanto a la resistencia a la roya, podría quebrarse rápidamente esta resistencia. Por otro lado, siendo del grupo A (es decir por lo menos 4 genes de resistencia), se puede esperar que este importante número de genes dificulte la creación de nuevas razas de roya. En un trabajo extenso, Holguín (1993) concluye que es indispensable para evitar la erosión progresiva de la resistencia de los Catimores, utilizar únicamente genotipos que traen todos los genes de resistencia del Híbrido de Timor (grupo A). En efecto, los genotipos con menos genes podrían favorecer la diversificación del patógeno y en consecuencia la aparición de nuevas razas, tan agresivas como las razas ya existentes. En realidad, el problema se complica más todavía pues existen genes de resistencia incompleta dentro de los derivados del Híbrido de Timor (Eskes, 1990; Moreno, 1989). Al romperse la resistencia completa, estos genes podrían revelarse y constituir una barrera suficiente para mantener las epidemias a niveles bajos. De hecho es lo que parece suceder en Brasil (con el ICATU y los Catimores) y en Colombia: aparecieron nuevas razas de roya que superaron la resistencia de algunas líneas de la variedad Colombia (Castillo y Leguizamon, 1992). Sin embargo, estas razas no mostraron por el momento una gran agresividad (Castillo y Leguizamon, 1992; Moreno, com.pers.).

4.4.4 Expectativas

La selección ha llevado las nuevas variedades Catimor a un nivel productivo superior al estándar Caturra. Los factores genéticos que permitieron la 'revolución verde' de la caficultura de los años 1960 se mantuvieron (porte pequeño, adaptación a la luz plena o a la sombra manejada). En condiciones limitantes se debe notar que estas plantas se agotan rápidamente. En Brasil, por ejemplo, con excepción del estado de Paraná, casi no se cultivan los Catimores o el Caturra debido a su falta de vigor.

La calidad de las dos variedades es un punto actualmente muy controversial.

Dentro del termino calidad se debe distinguir varios conceptos. En primer lugar están las características físicas del grano (tamaño, forma, regularidad, densidad, presentación, color). Las diferencias entre diversas líneas* de la variedad Colombia y el Caturra no parecen ser consistentes según Castillo y Moreno, (1986).

En segundo lugar viene la calidad a la taza de la bebida. La introgrección de genes del Híbrido de Timor dentro del genotipo Caturra (o Villa-Sarchi) puede haber traído ciertos problemas de calidad en la taza. Sin embargo, según Moreno *et al.* (1995), no hay diferencias entre los Catimores que componen la variedad Colombia y el Borbón o el Típica.

En Costa Rica se realizó un estudio sobre la calidad de cuatro variedades: Caturra, Catuai, Costa Rica 95 y T5175 (Astúa y Aguilar, 1997). La variedad T5175 se distinguió negativamente en cuanto al aroma, al cuerpo y a la acidez. Además, tenía un sabor a medicina y mostró un tueste disparejo, falta de uniformidad en sus granos y fisura abierta, para los ocho sitios donde fue evaluada. Las tres otras variedades fueron muy similares, aunque la calidad a la taza de Costa Rica 95 fue levemente inferior a la del Caturra en la mayoría de los sitios, y se destacó en cuanto al gran tamaño de grano y a su uniformidad.

En los estudios llevados a cabo en Honduras, no se encontraron diferencias consistentes entre el IHCAFE90 y las demás variedades (Caturra, Catuai o Borbón).

Debido a la alta subjetividad de las pruebas de catación, es aún muy difícil poder adelantar conclusiones definitivas sobre este tema. Deberán realizarse investigaciones más amplias, involucrando diferentes laboratorios de catación para aclarar estos aspectos que pueden tener un impacto económico significativo para los productores.

Es difícil prever el ritmo de diseminación de los Catimores en América Central. En todos los países, se piensa limitar los Catimores a las plantaciones sembradas a menos de 1200 msnm. La alta productividad de Costa Rica 95 y de IHCAFE90 es un elemento muy atractivo para el productor, pero la renovación del cafetal con estas nuevas variedades dependerá también:

- del panorama de los precios en el mercado internacional,
- de la facilidad de obtención de semillas de buena calidad, y
- de la aceptación por parte de los compradores de café de una calidad de café quizás inferior al estándar 'Caturra'.

5 *La Selección en el Marco de una Caficultura Sostenible*

5.1 *Problemas por resolver y criterios de selección*

El mercado mundial y las características de Centroamérica imponen limitantes a la caficultura que allí se practica. Las condiciones de relieve, la poca disponibilidad de nuevas tierras, y en ciertos casos la escasez de mano de obra, requieren de una intensificación del cultivo. Por otra parte la rentabilidad del cultivo cambia rápidamente con las súbitas variaciones de los precios internacionales. Por ejemplo la fertilización se reduce durante los períodos de precios bajos para ser de nuevo empleada cuando vuelven a subir. El sistema de cultivo y la planta de café tienen que adaptarse a estos cambios drásticos. Finalmente, el consumidor se vuelve más preocupado por la calidad y los grupos de presión exigen un café más ecológico. La intensificación aparece como una necesidad, pero debe ser una intensificación que proteja el medio ambiente y asegure la rentabilidad del cultivo aún en condiciones de precios bajos. Este desafío, que no se plantea solamente para el cultivo del café, ha sido conceptualizado bajo el nombre de 'Revolución Doblemente Verde'.

La genética puede aportar soluciones a una parte de estos problemas. El conjunto de los riesgos biológicos (exógenos como endógenos), económicos y comerciales conduce a fijar los siguientes criterios de selección:

- resistencia a enfermedades y plagas (roya, CBD, nematodos);
- productividad igual o superior a los mejores Catimores sin agotamiento precoz y con cierta estabilidad productiva;
- defectos del fruto comparables al estándar Caturra;
- tamaño superior al estándar;
- calidad en la taza igual o mejor que la del Caturra;
- porte pequeño y uniformidad de las plantas;
- buena adaptabilidad a condiciones limitantes.

Es casi imposible reunir en una sola variedad todas estas cualidades. Además, eso llevaría a una gran uniformidad. Por esa razón, se piensa desarrollar múltiples variedades que puedan adaptarse cada una a sus nichos biológicos y/o comerciales. Finalmente, teniendo en cuenta la rapidez de los cambios en el mundo actual y los pocos recursos económicos disponibles, estas nuevas variedades deberán estar disponibles rápidamente a través de un esquema de selección poco costoso.

5.2 *La perspectiva de nuevas estrategias de selección*

Para responder a los criterios de selección mencionados, se necesita ampliar la base genética en América Central. Existen dos grandes vías para plantear nuevas alternativas de selección Charrier (1985).

La primera vía es la hibridación interespecífica con la introgresión de genes de resistencia de otras especies de *Coffea* en la especie *Coffea arabica*. Como se subrayó en el capítulo 11, se supone que los genes de resistencia a enfermedades (roya, CBD) que existen en otras especies se puedan introgresar ya sea por medio de la hibridación interespecífica, o bien aprovechando las nuevas herramientas de la biología molecular. La introgresión requiere de mucho tiempo y encuentra sus limitaciones en cuanto a las características del grano, la calidad a la taza o la pérdida de genes de resistencia. La transferencia de genes a través de la ingeniería molecular (capítulo 13) es una tecnología nueva y su utilización en la genética del café es todavía especulativa.

La segunda vía es a través de la hibridación intraespecífica. Esta vía fue escogida por PROMECAFE a partir de 1991. Se trata de recombinar los mejores Catimores por los orígenes silvestres de África del Este (figura 12-4). Los silvestres (de Etiopía, Sudán, Kenya y Yemen) fueron presentados en el capítulo 11. A través de múltiples recombinaciones, se está creando una nueva base genética en *C. arabica*. Esta base permite seguir la selección con los criterios descritos anteriormente. Sin embargo, debido a que la selección genealógica es de larga duración, se piensa en una primera etapa utilizar directamente los híbridos F1. Con los F1, se espera tener un vigor vegetativo que se traducirá en una mejor producción y una mejor adaptabilidad del cultivo en ambientes difíciles. El vigor F1 o heterosis es algo conocido y explotado en varios cultivos (Gallais, 1990; Lefort-Buson, 1986; Duarte & Adams, 1972).

El programa se describe en la figura 12-5: en primer lugar, se procede a una evaluación de la resistencia a las enfermedades y plagas de los progenitores. Después se crean familias de híbridos F1 que se evalúan en campo, planta por planta. Las mejores plantas son multiplicadas por medio del cultivo de tejido y se crean clones que se liberan a nivel de los productores (capítulo 13).

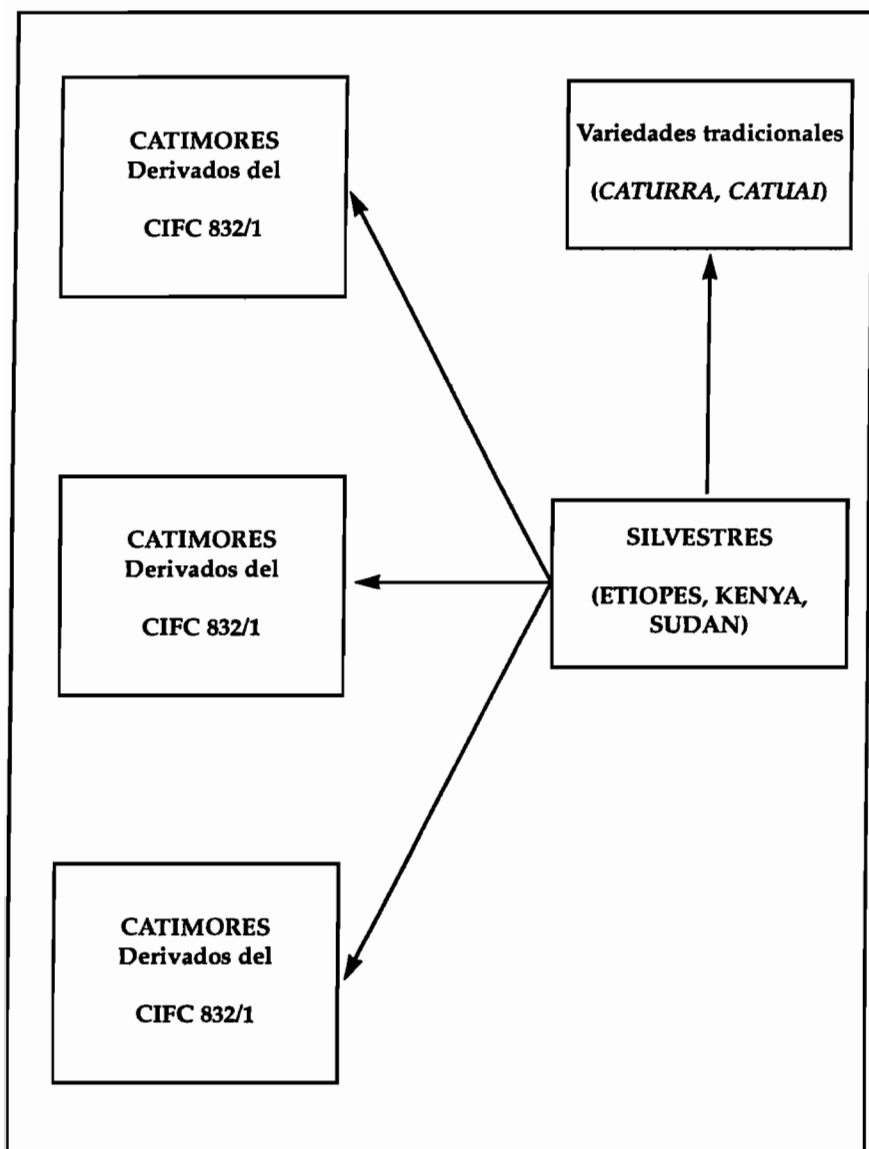


Figura 12-4. Cruces entre los diferentes grupos de materiales (las flechas indican el sentido del cruzamiento) para producir familias de híbrido F1. Los silvestres son los machos en todos los cruzamientos.

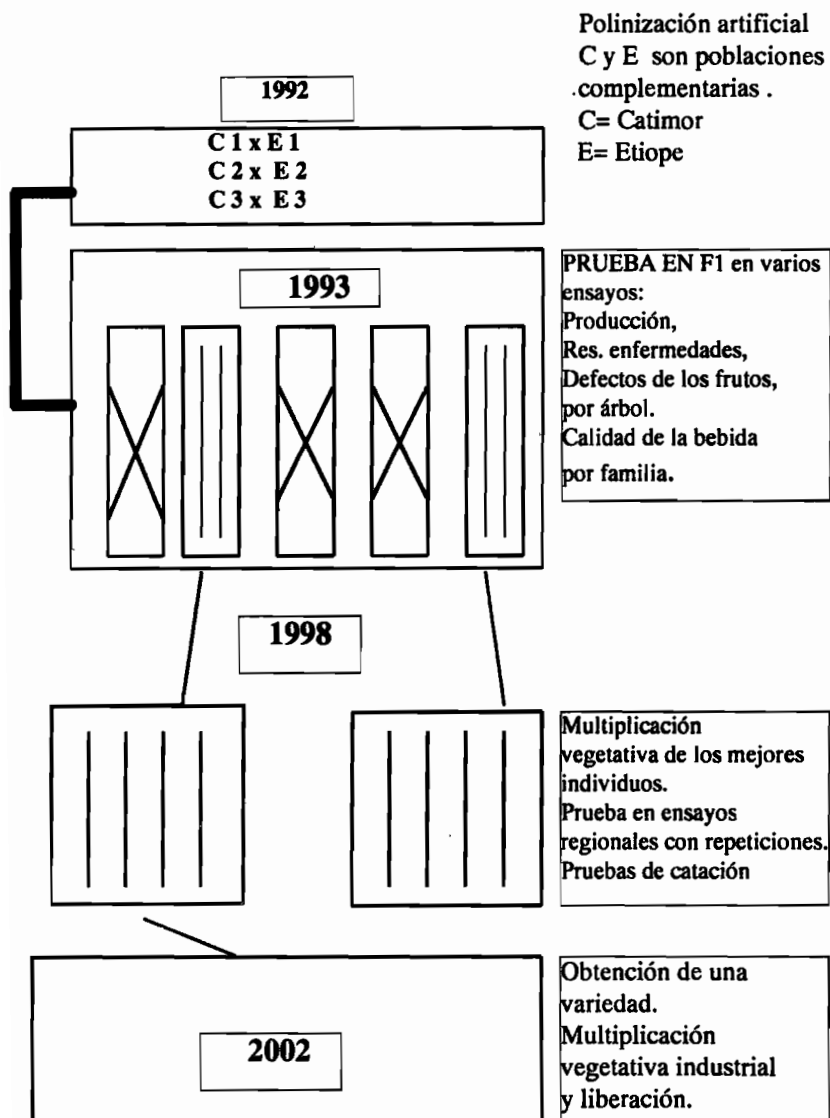


Figura 12-5. Esquema de obtención de variedades HIBRIDO F1.

5.3 Algunos resultados de los híbridos F1

5.3.1 Evidencia del vigor híbrido sobre la producción

Los autores se dividen en cuanto a la existencia del vigor híbrido (fotos 12-7 y 12-8). Según Carvalho (1988) no se encontró ninguna evidencia de heterosis* en los cruzamientos estudiados en Campinas (IAC). Sin embargo, este autor reporta datos no publicados obtenidos en Costa Rica por León en 1965, donde se evidencia el vigor híbrido en algunas combinaciones. Charrier (1978) reporta observaciones del vigor híbrido en variedades cruzadas con silvestres. La mayoría de los trabajos hechos sobre los F1 se hicieron en África del Este. Walyaro (1983) reporta vigor híbrido de 10 hasta 236% en relación con la producción del mejor padre. Este vigor aparecería con más frecuencia cuando los dos padres de los híbridos son genéticamente distantes. En Etiopía, Ameha y Belachew (1985) reportan heterosis de 36% a 60% a partir de híbridos de silvestres con silvestres. En Honduras, Santacreo (1992) obtiene valores que superan 35% (promedio de 4 localidades) para unas combinaciones entre Catuai y el IHCAFE90. En Costa Rica, la heterosis promedio se establece en más de 30% cuando se compara con el mejor padre (Bertrand *et al.*, 1997). En el cuadro 12-8 se puede ver que la heterosis es más evidente para la producción, que es una característica global, que para las características simples como son el diámetro del tallo o la altura de la planta. Sin embargo, el vigor híbrido se manifiesta también con el aumento de la biomasa total. Eso significa que el tamaño de la planta es generalmente mayor que el de la variedad línea*, y que por consiguiente, tiende a ocupar más espacio. Por lo tanto, la superioridad productiva del híbrido puede ser en realidad menor de lo previsto cuando se siembra en condiciones de alta densidad.

5.3.2 Recombinación de genes de resistencia a enfermedades

Una de las grandes ventajas de los F1 es que hay acumulación en un genotipo de las resistencias complementarias a las enfermedades y plagas como es el caso para los genes dominantes de resistencia a la roya, a los nematodos y eventualmente al CBD que se encuentran ya sea dentro del grupo de los Catimores o dentro del grupo de los silvestres.

5.3.3 Defectos de frutos y calidad en la taza

De manera general, los F1 tienden a producir más caracoles (+ 5%) y frutos vanos (+ 6%) que las variedades líneas (Bertrand *et al.*, 1997). En



Fotos 12-7 y 12-8. Híbridos F1 en segundo año de producción obtenidos y evaluados en el marco de una cooperación regional (PROMECAFE/CATIE/Cooperación Francesa).

Cuadro 12-8. Promedio de una población de cuatro líneas (Caturra, Catuai, CR95, T5296) en comparación con una población de 17 híbridos F1 (Bertrand *et al*, 1997b).

Variables	Líneas	Híbridos	% de ganancia
Prod. promedio, ***kg oro/ha	2 079	2 724	31
Peso granos secos (en gramo)	16.13	16.72	3.6
Diámetro al tallo*** (mm)	27.36	30.52	11.5
Altura*** (cm)	102	111.7	9.5
Número bandolas*	57.48	61	6.1
Longitud bandolas*** (en cm)	61.6	69	12
Longitud entrenudos*** (en cm)	3.02	3.36	11.25
Número de frutos en 6 nudos*	96.9	101.7	4.95

*** Estadísticamente diferentes P#0.001, P#0.01, P#0.05.

datos de experimentos en Kenia reportados por Van der Vossen (1985), los híbridos tienen sistemáticamente más caracoles que sus padres. En Honduras, Santacreo (1992) reporta promedios de 10 a 12% de fruto vano en los F1 contra 4 a 6% para sus padres. Sin embargo, la selección dentro de una familia de las mejores plantas para una multiplicación clonal debería permitir eliminar en gran parte este problema.

De las primeras pruebas de catación que se hicieron, se nota que la mayoría de los F1 igualan o superan el padre cultivado.

5.3.4 Adaptabilidad de los híbridos

En condiciones de estrés drástico, Ameha (1990) reporta que los híbridos silvestres x silvestres se comportan mejor que sus padres. Según Mónaco y Carvalho (1964) los híbridos son más estables que las líneas puras,

o sea que el medio ambiente afecta más las líneas que los híbridos. Esto debería ser la ventaja más grande de los F1, pues garantizaría mayores producciones en condiciones limitantes (clima, suelos, cambio drástico de las prácticas culturales).

5.4 Producción de variedades F1

El principal cuello de botella en el uso de los híbridos será la producción masiva de plantas. Existe la posibilidad de utilizar el método de multiplicación vegetativa por medio de la embriogénesis somática. Esta técnica se presenta en el capítulo 13.

Otras alternativas de producción de F1. Diferentes autores han propuesto métodos para la multiplicación de los híbridos. La técnica empleada en Kenia y también descrita en Etiopía descansa en la polinización manual (Ameha, 1990). Esta técnica es difícil de aplicar para producir grandes cantidades de semillas. Sin embargo, se puede pensar en su aplicación cuando se trata de producir algunos kilos de una variedad que se está evaluando sin recurrir a técnicas muy sofisticadas. En Costa Rica, se estima que un kilo de semillas obtenidas de esta manera cuesta cerca de US\$55 (Bertrand, datos no publicados).

La alternativa más interesante a la multiplicación por embriogénesis somática sería la utilización de la esterilidad masculina de origen genético (Mazzafera, 1989): la flor no produce polen o produce un polen estéril. Sin embargo, es fértil y puede ser fecundada por el polen de otro árbol. En el CATIE, se están desarrollando estudios de cinco árboles machos estériles* (Dufour *et al.*, 1997). Se ha emprendido un programa de recombinación que podría producir dentro de 8 a 10 años líneas puras de Costa Rica 95 y de IAPAR59 estériles.

5.5 Creación de variedades porta-injerto

Para muchos frutales, la práctica del injerto es muy usual. Los patrones se utilizan ya sea como fuente de resistencia al parasitismo del suelo o a los virus, para reducir el vigor de las plantas (aumento de densidades de siembra) así como para aumentarlo, o bien para una mejor adaptación a condiciones particulares como exceso de calcio o de humedad, etc.

En café, el injerto se utiliza principalmente para luchar contra el parasitismo telúrico. En Guatemala se utiliza desde hace muchos años el patrón Robusta para controlar los nematodos *Pratylenchus* sp. y *Meloidogyne* sp. En este país los nematodos son muy agresivos y la práctica del injerto da resultados espectaculares en situaciones de fuertes infestaciones con *Pratylenchus* (capítulo 10), para el cual el patrón Robusta es altamente tolerante (Anzueto, 1993; Villain *et al.*, 1996). La eficacia del injerto para el control de *M. incognita*, que es el principal nematodo de este género en Guatemala, no ha sido formalmente comprobada, pero debe ser baja. En efecto, las descendencias de Robusta que se usan como patrones no han sido seleccionadas. En condiciones de invernadero, Anzueto (1993) ha mostrado que las descendencias de Robusta no presentan más de 30% de plantas resistentes. Esto indica la necesidad de realizar un trabajo de selección para obtener variedades con mayor resistencia a *Meloidogyne* manteniendo a la vez tolerancia a *Pratylenchus*. A partir de 1990, se empezó una selección de nuevas variedades porta-injerto. En la actualidad se puede describir tres tipos de materiales que estarán disponibles muy rápidamente a nivel de los productores.

5.5.1 La variedad Nemaya

La nueva variedad 'Nemaya' (Anzueto *et al.*, 1995; Bertrand *et al.*, 1995), obtenida en 1995 por PROMECAFE a través de un proyecto financiado por la Unión Europea (1994-1996), viene del cruzamiento de dos árboles de la colección del CATIE, el T3561 (planta 2-1) y el T3751 (planta 1-2). La descendencia de este cruzamiento es altamente resistente a *Meloidogyne* sp. del Salvador (Peña, 1994), de *M. incognita* de Guatemala (Anzueto, 1993), de *M. exigua* de Costa Rica (Bertrand *et al.*, 1998) y de *M. arabicida* de Costa Rica (Bertrand, datos no publicados). En relación con los nematodos de Guatemala y El Salvador que son particularmente agresivos, los Robustas no seleccionados presentan alrededor de 35% de plantas resistentes cuando la variedad Nemaya presenta cerca de 80% de plantas resistentes. En relación con *M. exigua* y *M. arabicida*, la variedad Nemaya presenta respectivamente 90% y 80% de plantas resistentes. Además cabe notar que el T3751 (planta 1-2) -uno de los dos padres de la variedad- ha demostrado ser más tolerante a *Pratylenchus* sp. que otros Robustas (Anzueto, 1993). Complementariamente los Robustas presentan un buen nivel de tolerancia a las cochinillas *Dysmicoccus cryptus*, netamente superior a la tolerancia de los Arábicas (García, 1992). La multiplicación de la variedad Nemaya se está realizando en los países miembros de

PROMECAFE. El proceso de multiplicación de la variedad está descrito en el capítulo 13.

Cabe notar que debería haber más investigaciones en cuanto a la práctica del injerto en condiciones de bajura (inf. 800 msnm). En efecto a esas alturas limitantes para el Arabica, el Robusta confiere un aumento de vigor, tanto en presencia de nematodos como en su ausencia.

5.5.2 *Los Catimores*

En situaciones de altura (800-1000 metros), las bajas temperaturas empiezan a causar ciertos disturbios fisiológicos a los Robusta (foto 12-9a y 12-9b). A más de 1000 msnm, Bertrand *et al.*, (1998b) encuentran que en situación de muy baja infestación con nematodos, la injertación causa una pérdida de 10 a 20% de la producción en relación con testigos no injertados (ver cuadro 12-9). Eso significa que en presencia de un nematodo como *M. exigua*, que no causa pérdidas superiores a un 10-20% en condiciones de clima favorable, el injerto sobre patrón de Robusta no se justifica. En este caso particular, la resistencia encontrada en los Catimores (variedad IAPAR59 por ejemplo), puede ser aprovechada. Un patrón Catimor de igual crecimiento al Caturra no debería afectar el crecimiento de la planta. Sin embargo, en situaciones de ataques múltiples de *Pratylenchus* y *M. exigua*, esta solución no es recomendable, pues debido a la susceptibilidad del Arábica al *Pratylenchus* y a la competencia entre ambas especies se nota un fuerte incremento de la población de *Pratylenchus* (Bertrand *et al.*, 1998; capítulo 10)

5.5.3 *Continuación del proceso de selección*

El objetivo de la selección de variedades resistentes a nematodos es llegar a una protección total y durable. La posibilidad de utilizar otras especies de *Coffea* como porta-injerto no parece muy interesante por los problemas de mal crecimiento en situaciones de altitud (Bertrand, datos no publicados). El híbrido interespecífico Arabusta, creado a partir de uno de los padres de la variedad Nemaya cruzado con un silvestre resistente a *M. incognita* y *M. arabicida*, podría ser una valiosa fuente de resistencia heredada del Robusta y, a la vez, conferir un fuerte vigor al injerto en condiciones de más de 800 msnm en donde el Robusta sufre por las bajas temperaturas. En el CATIE se empezó un programa de duplicación del número de cromosomas del T3751 (1-2) y del T3561 (2-1), para crear un tetraploide que luego se podrá cruzar con un Arábica silvestre resistente a ciertos nematodos.



Foto 12-9a. Individuo del clon de Robusta T3561 (2-1) sembrado a 600 msnm (CATIE, Turrialba, Costa Rica).



Foto 12-9b. Otro individuo del clon de Robusta T3561 (2-1) proveniente del mismo vivero y de mismo tamaño a la hora de ser sembrado en la misma época a 1100 msnm (CICAPE, Heredia, Costa Rica). Esta planta recibió "mulch", abono y riego. Sin embargo, se nota un pobre crecimiento, si se compara con el individuo de la foto 9. Estas diferencias se atribuyen a las temperaturas promedio más bajas. En los meses más fríos se nota ataque de "derrite" (*Phoma costarricense*, Echandi) y amarilleo muy pronunciado de las hojas. Eso explicaría en gran parte las diferencias de rendimiento de las plantas injertadas a más de 1000 msnm (en ausencia de nematodos).

Cuadro 12-9. Comparación de la productividad de dos variedades injertadas en diferentes patrones de *Coffea* en ausencia de nematodos. Producción en kg de cerezas por planta, acumulada de cuatro cosechas. Las letras indican los tratamientos significativamente diferentes (prueba de Keuls, $P=0.05$). (Bertrand *et al.*, 1998b).

Variedades	Caturra		T5175.	
	Producción	% mortalidad	Producción	% mortalidad
No injertado	15711a	2.9	17592a	5.7
Robusta T3561	14106a	6.0	13718b	4.0
Robusta T3757	9534 b	13.3		

El uso de variedades resistentes a nematodos debe ir acompañado de medidas agronómicas previas con el fin de bajar las poblaciones iniciales y para evitar que se quiebre la resistencia (Roberts, 1992; capítulo 10).

6 Conclusión

La ampliación de la base genética es el mayor objetivo de los programas de mejoramiento genético de América Central. A corto y mediano plazo, los trabajos de selección van a permitir una oferta de otras variedades Catimores con resistencia a la roya, a los nematodos y al CBD. En las regiones en donde los nematodos son muy agresivos y en situaciones de bajura, la variedad porta-injerto Nemaya será una buena solución agronómica.

A mediano y largo plazo, a través del uso de los recursos genéticos silvestres y con la recombinación de las mejores variedades derivadas del Híbrido de Timor, se van a crear nuevas variedades y en general una nueva variabilidad genética. La primera generación de recombinaciones en forma de F1 puede ser multiplicada directamente por medio de la embriogénesis somática o a través de machos estériles. También se puede

considerar que este proceso es el primer paso de una selección recurrente recíproca*, en donde se está aumentando la complementariedad de la población silvestre por un lado y de los Catimores por otro lado.

Para las situaciones de altura en donde el Robusta tiene problemas de crecimiento, se puede esperar la oferta dentro de 8-10 años de un porta-injerto de tipo 'Arabusta' con alta resistencia a los nematodos y de gran vigor.

La idea es llegar a nivel del productor con una oferta de diferentes variedades y patrones que él escogerá según sus necesidades ecológicas y económicas y sus prioridades de comercialización.

Bibliografía

- Aguilar, G. 1995. Variedad Costa Rica 95. Instituto del Café de Costa Rica, Convenio ICAFE-MAG. ISBN 977-55-014-X. 30 p.
- _____.; Bertrand, B.; Anthony, F. 1997. Comportamiento agronómico y resistencia a las principales plagas de diferentes variedades derivadas del Híbrido de Timor. Noticiero del café. Revista del Instituto del café de Costa Rica. no. 94-95. ISSN 108-421X. 8 p.
- Ameha, M. 1990. Heterosis and Arabica coffee breeding in Ethiopia. Plant breeding abstracts 60(6). 6 p.
- _____.; Belachew, B. 1985. Heterosis for yield in crosses of indigenous coffee selected for yield and resistance to coffee berry disease. Acta Horticultural 158: 347-352.
- Anzueto, F. 1993. Etude de la résistance du caféier à *Meloidogyne sp.* et *Pratylenchus sp.* Tesis de doctorado, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. 123 p.
- _____.; Bertrand, B.; Dufour, M. 1995. Desarrollo de una variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos de América Central. Boletín PROME-CAFE. IICA, Guatemala. Enero-junio. p. 13-15.
- Bertrand, B.; Anzueto, F.; Peña, M.; Anthony, F.; Eskes, A.B. 1995. Genetic improvement of coffee for the resistance to root-knot nematodes *Meloidogyne sp.* In 15 Congreso Internacional sobre el Café. Kyoto, Japón, mayo de 1995. París, Francia, ASIC. p. 630-636.
- _____.; 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 17 Congreso Internacional sobre el Café. Nairobi, Kenya, julio de 1997. Vevey, Suiza, ASIC.
- _____.; Borbón, O.; Aguilar, G. 1998. Situación nematológica en un cafetal de la meseta Central de Costa Rica y posibilidades de control. In Memoria del III Seminario sobre Resultados y Avances de Investigación. San José, C.R., ICAFE. p. 15-28.

- Bertrand, B.; Anzueto, F.; Peña, M.; Anthony, F.; Eskes, A.B.; Aguilar, G.; Bompard, E.; Rafinon, A.; Anthony, F. 1997. Comportement agronomique et résistance aux principaux déprédateurs des lignées de Sarchimors et Catimors au Costa Rica. *Plantations Recherche Développement* 4(4): 312-321.
- Bettencourt, A.J.; López, J.; Godinho, I.L. 1980. Genetic improvement of coffee. Transfer of factors for resistance to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. into high yielding cultivars of *Coffea arabica* L. 9ème Coll. Scient. Int. sur le café. Paris, Francia, ASIC. 647 p.
- Campos, E. 1987. Comparación del Catuai con el Caturra. In *Noticiero del café* 2(27). San José, C.R., ICAFE. 3 p. ISSN 0550-1105.
- _____. 1998. Densidades de siembra y distancias entre plantas e hileras. In *Memoria del III Seminario sobre Resultados y Avances de Investigación*. San José, C.R., ICAFE. p. 95-100.
- Carvalho, A.; Krug, C.A. 1949. Agentes de polinização da flor do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Bragantia* 9: 11-24.
- _____. 1988. Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors: *Coffea arabica*. In *Coffee*. Ed. por R.J Clarke y R. Macrae. Elsevier applied science. v. 4. Agronomy, capítulo 4.
- _____. Eskes, A.B. 1989. Breeding for rust resistance en Brasil. In *Coffee rust: epidemiology, resistance and management*. Ed. por A.C Kussalappa y A.B. Eskes. Boca Ratón, Florida, EE.UU., CRC Press. ISBN 0-8493-6899-5. 337 p.
- _____. Medina Filho, H.P.; Fazuoli, L.C.; Guerreiro Filho, O.; Lima, M.M.A. 1991. Aspectos genéticos do cafeeiro. *Rev. Brasil. Genet.* 14: 1, 135-183.
- _____. Mendes, J.E.T.; Antunes Filho, H.; Junqueira, A.R.; Aloisi Sobrinho J.; Rocha, T.R.; Moraes, M.V. 1961. Comportamento regional de variedades linhagens e progenies de café ao sol e à sombra. *Bragantia* 20(46): 1045-1142.
- _____. Fazuoli, L.C.; Monaco, L.C. 1975. Características do cultivar Iarana de *Coffea arabica*. *Bragantia* 34, 263.
- Castillo Zapata, J. 1984. Actividades de Colombia en investigación en mejoramiento genético del café. In *IV Reunión Regional de Especialistas en Mejoramiento Genético del Café*. Antigua, Guatemala, 1-5 octubre de 1984. PROMECAFE-IICA. 30 p.
- _____. 1990. Mejoramiento genético del café en Colombia. In *50 años de CENICAFE 1938-1988. Conferencias conmemorativas*. Chinchiná, Col., CENICAFE. CDD-633.730968. p. 46-53.
- _____. Leguizamón Caycedo, J. 1992. Virulencia de "*Hemileia vastatrix*" determinada por medio de plantas diferenciales de café en Colombia. *Cenicafé* 43 (4): 114-124.
- _____. Moreno, G. 1986. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. Bogotá, Col., Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 172 p.
- Charrier, A. 1978. Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers. Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Côte d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce *coffea arabica* L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966. Paris, Francia, ORSTOM-IFCC. Bull. IFCC no. 14. 99 p.

- Charrier, A. 1985. Progrès et perspectives de l'amélioration génétique des caféiers. In 11 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Lomé. Vevey, Suiza, ASIC. p. 403-425.
- Cowgill, W.H. 1958. The sun-hedge system of coffee growing. *Coffee and Tea Industries. Advances in Coffee Production* 81(11): 87-90.
- Duarte, R.A.; Adams, M.W. 1972. A path coefficient analysis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science* 22: 579-582.
- Dufour, M.; Anthony, F.; Bertrand, B.; Eskes, A.B. 1997. Identification de mâles stériles de *Coffea arabica* au CATIE, Costa Rica. *Plantation Recherche développement* 4-6: 401-407.
- Echeverri, J.H.; Fernández, C.E. 1989. The PROMECAFE program for Central América. In *Coffee rust: epidemiology, resistance and management*. Ed. por A.C Kussalappa y A.B. Eskes. Boca Ratón, Florida, EE.UU. ISBN 0-8493-6899-5. 337 p.
- Eskes, A.B. 1983. Qualitative and quantitative variation in pathogenicity of races of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) detected in the state of Sao Paulo, Brasil. *Neth. J. Plant Pathol.* 89, 31.
- _____; Kussalappa, A.C. eds. 1989. *Coffee rust: epidemiology, resistance and management*. Boca Raton, Florida, EE.UU., CRC Press. ISBN 0-8493-6899-5. p. 337.
- Fagioli, S.; Berry, D.; Bieysse, D. 1990. Recherches sur la résistance à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. dans un groupe de génotypes de *coffea arabica* L. d'origines Ethiopiennes. *Café Cacao Thé (Paris, Francia)* 34(2): 105-144.
- Fazuoli L.C. 1985. Genética e melhoramento do cafeeiro. In *Cultura do cafeeiro*, Piracicaba, Brasil. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p. 87-113.
- _____; Lordello, R.R.A. 1978. Resistência de cafeeiros Híbrido do Timor a *Meloidogyne exigua*. *Ciencia y Cultura, Suplemento*, Brasil, 30, 3.
- Figuroa, A.P. 1997. Caracterización de la calidad de las principales variedades comerciales de café *Coffea arabica* por medios físicos y organolépticos en Guatemala. Tesis de licenciatura. Universidad Guatemala Rafael Landívar. p. 51.
- Gallais, A. 1990. Théorie de la sélection en amélioration des plantes. *Coll Sciences agronomiques*. Paris, Francia, Ed.Masson. ISBN 2-225-81424-4.
- García, A. 1992. Les pseudococcidae déprédateurs des racines du caféier (*Coffea arabica* L.) au Guatemala. Cas particulier de *Dysmicoccus cryptus* (Hempel, 1918). Tesis de doctorado. Univ. Paul Sabatier Toulouse III. 122 p.
- Gonçalves, W.; Ferraz, L.C.C.B. 1978. Resistência do cafeeiro a nematóides: II - Testes de progênies e híbridos para *Meloidogyne incognita* raça 3. *Nemat. Brasileira* 11: 125-142.
- González, G.; Gutiérrez, Z. 1978. Respuesta de algunos cultivares de *Coffea arabica* a diferentes densidades de siembra. *Agron. Costarr.* 2(1): 61-68.
- Guyot, B.; Gueule, D.; Manez, J.C.; Perriot, J.J.; Giron, J.; Villain, L. 1995. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés Arabicas. *Plantation recherche développement* 3(4):272-280.

- Holguín Meléndez, F. 1993. Contributions à la recherche d'une résistance durable du caféier (*Coffea* spp.) à la rouille orangée (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). Etude de la variabilité du patogène. Tesis de doctorado. Université Montpellier II. 155 p.
- Instituto del Café. 1973-1989. Informes anuales de labores. San José, C.R., Departamento de Investigaciones y Transferencia de Tecnología.
- Instituto Hondureño del Café. 1991. Una nueva variedad de café con resistencia genética a la roya. Boletín de PROMECAFE no. 52-53. Junio-Diciembre, 15-18.
- Jonhson, R. 1984. A critical analysis of durable resistance. Annual Review of Phytopathology (EE.UU) 22: 309-330.
- Krug, C.A. 1936. Plano de estudos em execução no departamento de genética do Instituto Agronômico. Campinas, Brasil, Instituto Agronômico. Boletim técnico no. 26. 39 p.
- _____. 1945. Melhoramento do cafeeiro. Doze anos (1933-1944) de pesquisas básicas e aplicadas realizadas nas seções de Genética, Café e Citologia do Instituto Agronômico. Boletim da Superintendência dos Serviços do Café 20: 863-872, 979-992, 1038-1046.
- Lefort-Buson, M. 1986. Heterosis chez le colza oléagineux (*Brassica Napus* L.). Analyse génétique et prédiction. Tesis de doctorado. Univ. Paris Sud, Centre d'Orsay. 228 p.
- Leguizamón, J. 1983. Contribution à la connaissance de la résistance incomplète du caféier à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Tesis de doctorado. Ecole supérieure d'agronomie de Montpellier. 183 p.
- León, J. 1962. Especies y cultivares (variedades) de café. Materiales de enseñanza de café y cacao. Turrialba, C.R., IICA. 23, 69 p.
- Lingle, T. 1995. Desarrollo del café de especialidades "Gourmet", orgánico y otros. Doc. Nestlé. XVII Simposio de Caficultura, 23-27 de octubre. San Salvador, El Salvador, PROMECAFE, PROCAFE. Actas por aparecer.
- Mazzafera, P.; Eskes, A.B.; Parvais, J.P.; Carvalho, A. 1989. Stérilité mâle détectée chez *Coffea arabica* et *C. canephora* au Brésil. ASIC, 13 Colloque, Paipa. p. 466-473.
- Mendes, J.E.T. 1939. Ensaio de variedades de cafeeiros. Sao Paulo, Bra., Bol. Instituto Agronomico do Estado em Campinas. Tec. (65) 35 p.
- Monaco, L.C.; Carvalho, A. 1964. Novos dados sobre a variabilidade em linhas isogênicas de café. Bragantia 23 (2). 10 p.
- Moreno Ruiz, G. 1989. Etude du polymorphisme de l'Hybride de Timor en vue de l'amélioration du caféier Arabica. Tesis de doctorado. Ecole supérieure Agronomique de Montpellier. 153 p.
- Moreno, G.; Moreno, E.; Cadena, G. 1995. Bean characteristics and cup quality of the Colombia variety (*Coffea arabica*) as judged by international tasting panels. In 16 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Kyoto, Japón. Vevey, Suiza, ASIC. Acts. p. 574-583.
- Muller, R.A. 1984. Quelques réflexions à propos de la sélection de variétés de caféiers résistants à la rouille orangée (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). Café Cacao Thé 28: 17-42.

- Noronha-Wagner, M.; Bettencourt, A.J. 1967. Genetic study of the resistance of *Coffea* spp. to leaf rust : I, identification and behaviour of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. Can. J. Bot. 45, 2021.
- Peña, M.X. 1994. Evaluación fenotípica y genética para la resistencia al nematodo *Meloidogyne incognita* en Híbridos de *Coffea canephora*. Tesis de Master. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 78 p.
- Pérez, V.M. 1977. 25 años de investigación sistemática del cultivo de café en Costa Rica: 1950-1975. Agron. Costarr. 1(2): 169-185.
- _____. 1997. Proceso histórico de las variedades, cruces y mutaciones de *Coffea arabica* y Catimores en Costa Rica. Boletín de PROMECAFE 73-74: 13-15. Octubre 1996-marzo 1997
- Roberts, P.A. 1992. Current status of the availability, development, and use of host plant resistance to nematodes. Journal of Nematology 24(2): 213-227.
- Roche, D. 1995. Coffee genetics and quality. París, Francia, ASIC. 16 Colloque. Kyoto. p. 584-588.
- Rodríguez, C.J. 1992. Pathology & improvement of coffee for the main diseases. Contract TS2 0259-P de la CEE. In Fifth Scientific Report. 1st May- 31 october.
- _____; Bettencourt, A.J.; Rijo, L. 1975. Races of pathogen and resistance to coffee rust, Annu. Rev. Phytopathol., 13,49.
- Sierra Sanz, C.A. 1995. Control de la roya del cafeto con base en niveles de infección y su efecto en la producción. CENICAFE (Chinchina, Col.) 46, 2, 11 p.
- Santacreo, R.; Pineda, C.; Suazo, G.; Zaldivar, R. 1992. Síntesis de híbridos Catuai x Catimor buscando productividad, adaptabilidad y resistencia a la roya *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. 15 Simposio de Caficultura Latinoamericana. Xalapa, Veracruz, México. 21-24 julio. Actas por aparecer.
- Uribe, A. 1958. El cultivo del café al sol en Colombia. Revista Cafetalera de Colombia 134: 31-34.
- Villain, L.; Sarah, J.L.; Decazy, B.; Molina, A.; Sierra, S. 1996. Evaluation of grafting on *Coffea canephora* var. Robusta and chemicals treatment for control of *Pratylenchus* sp. en *C. arabica* cropping systems. Third International Nematology Congress. Abstracts of posters. 155 p.
- Van der Vossen, A.M. 1985. Coffee selection and breeding. In Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. Westford, Connecticut, EE.UU., Clifford & Wilson Eds. Capítulo 3.
- _____; Walyaro, D.J. 1980. Breeding for resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica* L. II. Inheritance of the resistance. Euphytica 29: 777-791.
- Walyaro, D.J.A. 1983. Considerations in breeding for improved yield and quality in Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). Doctoral thesis. Wageningen, Holanda. 120 p.

Glosario

Alogamia	Modo de reproducción en el cual el individuo se forma a partir de gametos de dos padres distintos.
Cruzamiento	Polinización artificial o natural de dos materiales genéticos cuyo producto puede presentar eventualmente recombinación genética.
Cruzamiento interespecífico	Cruzamiento entre individuos de especies diferentes.
Cruzamiento intraespecífico	Cruzamiento entre individuos de la misma especie.
Descendencia	Conjunto de los individuos provenientes de padres que les han transmitido todo o parte de su genoma.
F1	Producto de la primera generación de una hibridación.
F2	Conjunto de individuos que resulta de la reproducción de una F1. Las modalidades de obtención de la F2 son varias: autofecundación, retrocruce de la F1 por uno de los padres, cruzamiento entre hermanos, etc.
Hermafrodita	Se dice de una flor que tiene los órganos masculinos y femeninos.
Heterocigosis	Variabilidad producida por la presencia de alelos diferentes en el genoma
Heterosis	Superioridad fenotípica cuantificable del promedio de individuos que provienen de un cruce en relación con el promedio de los dos padres o del mejor padre.
Híbrido	Producto del cruzamiento entre dos estructuras homogéneas reproducibles tales como línea pura o clones y que difieren entre ellas por uno o más caracteres.
Híbrido F1 o simple	Producto de la primera generación de una hibridación.
Introgresión	Conjunto de los procesos por el cual un material genético (genes o cromosomas) es transferido de una especie a otra por medio de la hibridación.

Línea	Conjunto de individuos de alta consanguinidad y de alta homogeneidad genética y fenotípica. Si todos los genes son homocigóticos para todos los alelos se habla de línea pura.
Locus (pl.: loci)	Sitio que se puede localizar en los cromosomas.
Machos estériles	Individuos que, por diferentes motivos, presentan una esterilidad de los órganos masculinos de la flor. En el caso de <i>C. arabica</i> , se traduce por una ausencia de polen.
Mejoramiento genético	Para una especie cultivada, conjunto de los métodos y técnicas (cruzamientos, selección, ingeniería genética) cuyo objetivo es a partir de una población que no presenta ciertos caracteres de interés, la creación de grupos de individuos con las características deseables (variedades/cultivares).
Progenitor	En un programa de selección, planta que por sus buenas características es utilizada para la reproducción.
Recombinación	Conjunto de los procesos que llevan a nuevas asociaciones alélicas o cromosómicas en un individuo proveniente de dos padres diferentes.
Retrocruzamiento	Técnica para la transferencia de un carácter mono o oligogenético de una línea pura a otra línea (llamada padre recurrente). El híbrido F1 que proviene del cruzamiento de dos líneas es retrocruzado con el padre recurrente y eso hasta obtener una nueva línea pura.
Selección genealógica (<i>pedigree selection</i>)	Para las plantas autóгамas, método de selección artificial en el cual a partir de la generación F2 y en las generaciones siguientes se selecciona las plantas que presentan los caracteres deseables y se nota en cada generación su 'pedigree' hasta la obtención de la homocigocis.
Selección recurrente (<i>recurrent selection</i>)	Tipo de selección artificial (no genealógica) que incluye varios ciclos cuyo cada uno lleva una fase de selección de baja intensidad sobre los caracteres de interés y una fase de cruzamiento entre todos los individuos seleccionados. Ese tipo de selección permite incrementar la frecuencia de los genes favorables en la población que servirá luego de base a la selección.

Selección recurrente recíproca (<i>reciprocal recurrent selection</i>)	Selección recurrente en donde la selección de individuos de dos poblaciones diferentes se hace sobre su aptitud para combinarse con los individuos de la otra población.
Variedad	<p>Subdivisión de la especie (ejemplo <i>Coffea canephora</i>, variedad Robusta) El término variedad se utiliza también en el sentido de 'cultivar'.</p> <p>a) variedad tradicional: cultivar compuesto de varios genotipos de una misma especie que resulta de una selección masal en el marco de una agricultura tradicional.</p> <p>b) variedad o cultivar conjunto de individuos de una especie vegetal cultivada que se obtiene de un proceso de selección artificial y cuyos caracteres genéticos reproducibles son conocidos (por ejemplo a través de una oficina de certificación de semillas).</p>

CAPÍTULO 13

APORTES DE LA BIOTECNOLOGÍA AL MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL CAFÉ: EL EJEMPLO DE LA MULTIPLICACIÓN POR EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA DE HÍBRIDOS F1 EN AMÉRICA CENTRAL

*Herové Etienne**, CIRAD-CP/CATIE/PROMECAFE
Dominique Barry-Etienne, CATIE
Nelly Vásquez, CATIE
Marc Berthouly, CIRAD-GERDAT

1 *Introducción*

La biotecnología vegetal comprende las técnicas que utilizan organismos, partes de organismos o entidades subcelulares, así como procesos biológicos, para las industrias de fabricación y servicio, que incluyen la agricultura, la horticultura y la forestería, así como el manejo del medio ambiente (Smith, 1985).

Desde hace unos veinte años, la biotecnología ha sido profundamente modificada con el fin de proporcionar a los seleccionadores nuevas herramientas para mejorar los cultivos vegetales; dándose su máximo desarrollo

* Unidad de Biotecnología. CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica. Fax: (506) 556-0938.
Correo electrónico: hetienne@catie.ac.cr

Nota: Las palabras después de las cuales aparece un asterisco (*) se definen en el glosario al final del capítulo.

en los años 90. Esta representa sin embargo, una gama de técnicas de laboratorio que sólo tienen interés si están integradas dentro de un esquema global de mejoramiento vegetal. Hoy, los procedimientos son funcionales en diferentes especies y las variedades son mejoradas a través de la biotecnología. Algunos productos son cada vez más comercializados.

Para el café, desde hace casi treinta años, se han realizado esfuerzos de investigación muy importantes en la mayoría de los campos de la biotecnología, y hoy comienzan a dar sus frutos. Es así como un mapa genético de *Coffea canephora* acaba de ser publicado (Paillard *et al.*, 1996), y están a punto de ser obtenidas plantas genéticamente transformadas, para resistencia al minador de las hojas (Leroy *et al.*, 1997). Finalmente, un café sin cafeína fue seleccionado por un consorcio australiano americano. Sin embargo la utilización de estos productos de investigación con fines comerciales, todavía no se lleva a cabo.

El objetivo de este capítulo es triple. Primero, se hará una descripción rápida de las diferentes técnicas de la biotecnología estudiadas o utilizadas en el café. Luego, se hará el balance de las técnicas de propagación de las plantas *in vitro** llamadas micropropagación*, y finalmente se presentarán los trabajos realizados en este campo en América Central por PROMECAFE.

2 Biotecnología en el Café: Estado de la Situación

Casi todas las técnicas de la biotecnología están hoy disponibles para el seleccionador de café (Pétiard *et al.*, 1993a). Este cultivo parece ser poco recalcitrante a la implementación de estas nuevas tecnologías. La biotecnología no puede ser relacionada únicamente con la ingeniería genética*, es decir, con las técnicas que permiten la modificación del genoma* de la planta. Algunas de estas técnicas tienen como objetivo simplemente valorar por su identificación, su multiplicación o su conservación, algunos genotipos* seleccionados (Pétiard *et al.*, 1993a).

2.1 Técnicas de identificación

Estas técnicas apoyan el manejo de los recursos genéticos (caracterización y conservación), la identificación de los genes* de interés, así como la selección asistida por marcadores moleculares. Su utilización en el café está ampliamente descrita en el capítulo 11.

2.2 Técnicas de multiplicación vegetativa *in vitro* o micropropagación

Con miras a una mejor alimentación, o con el fin de preservar su ambiente, el hombre, desde siempre, ha tratado de reproducir los mejores individuos en plantas cultivadas. Es así como han aparecido numerosas variedades o clones*. En las plantas alógamas*, la reproducción por vía sexual, es decir por semillas, da lugar a una recombinación de los genes* y produce por ende individuos genéticamente diferentes a los dos padres. Para multiplicar estos árboles de buenas cualidades agronómicas, el hombre ha utilizado métodos de multiplicación vegetativa* que permiten la multiplicación idéntica o clonación. Es el caso en estado natural de los estolones de las fresas, los bulbos de las liliáceas o incluso el amacollamiento de las gramíneas. Los horticultores han elaborado nuevas técnicas de multiplicación vegetativa* tales como la multiplicación por estacas, los acodos y el injerto.

El desarrollo de las técnicas de multiplicación *in vitro** (micropropagación*) ha revolucionado la reproducción vegetal. En efecto, a partir de un fragmento de planta y trabajando en condiciones de esterilidad es posible en un año, producir varios millones de ejemplares sanos de la planta madre. La micropropagación ha sido una de las primeras aplicaciones prácticas de la biotecnología. Es utilizada por ejemplo, a gran escala desde hace unos quince años para renovar las plantaciones de papas o de bananos con un material que está en perfecto estado sanitario. Actualmente encuentra su mayor aplicación en la multiplicación de especies ornamentales para las cuales el costo de la semilla es elevado (gerbera, rosas, orquídeas, lis y otras plantas).

La micropropagación se basa en el concepto de totipotencia celular* enunciado desde 1902 por Haberlandt: la célula, unidad morfológica y fisiológica del ser viviente, es capaz de autonomía. Posee toda la información genética necesaria para regenerar la planta entera, siempre y cuando se le suministren las condiciones favorables para este desarrollo.

En el café, las técnicas de micropropagación que han sido descritas son la embriogénesis somática* (Starisky, 1970; Söndhal y Sharp, 1977; Yasuda *et al.*, 1985; Berthouly y Michaux-Ferrière, 1996), la multiplicación por microestacas (Dublin, 1980; Söndhal y Loh, 1988) y el cultivo de meristemas (Apone *et al.*, 1981; Kharta *et al.*, 1981). La multiplicación por microestacas y la embriogénesis somática son las dos técnicas más desarrolladas y serán objeto de párrafos particulares (secciones 3.2 y 3.3).

2.3 *Las técnicas de conservación*

Para poder conservar en el laboratorio la diversidad genética y más particularmente los genotipos* que presentan un interés para el mejoramiento varietal, se han desarrollado métodos de conservación, basados en la utilización de estas técnicas de multiplicación. Esta metodología da lugar al establecimiento de verdaderas colecciones *in vitro*. De manera general, las técnicas de conservación tienen muy buenas cualidades técnicas y son perfectamente operacionales en el café.

Entre ellas, la criopreservación* permite la conservación a muy largo plazo a muy baja temperatura, utilizando nitrógeno líquido (-196°C). Ha sido desarrollada para diferentes tipos de material vegetal: yemas terminales (Mari *et al.*, 1995), embriones somáticos (Bertrand-Desbrunais *et al.*, 1988; Tessereau *et al.*, 1994), embriones zigóticos (Abdelnour-Esquivel *et al.*, 1992; Normah y Vengadaslam, 1992) y semillas (Normah y Vengadaslam, 1992; Dussert *et al.* 1997, 1998).

La conservación a mediano plazo es realizable si se utiliza un crecimiento lento obtenido a temperaturas inferiores a las temperaturas óptimas para el crecimiento (20°C en *C. arabica* y 23°C en *C. robusta*). Esta técnica se aplica rutinariamente sobre estructuras organizadas que presentan una estabilidad genética segura. En el caso del café, los cultivos destinados al establecimiento de una colección pueden ser iniciados a partir de semillas y de embriones zigóticos (Bertrand-Desbrunais y Charrier, 1989; Bertrand-Desbrunais *et al.*, 1991), de ápices* (Kartha *et al.*, 1981) así como de nudos ortotrópicos* (Söndahl y Loh, 1988).

2.4 *Las técnicas destinadas a la modificación del genoma*

En condiciones de laboratorio, dos vías se han estudiado para modificar el genoma* del café: las técnicas de haploidización* destinadas a la obtención de plantas que solo presentan un único lote de cromosomas*, y las técnicas de transformación genética* cuyo objetivo es la introducción de un gen ajeno con interés agronómico.

2.4.1 *La haploidización*

El interés de las plantas haploides* es que pueden ser tratadas químicamente para duplicar el número de cromosomas. La duplicación

conduce a plantas homocigóticas* que han encontrado su fertilidad y en las cuales los caracteres controlados genéticamente están fijados. Existen dos técnicas para obtener plantas haploides: una técnica *in vivo* por medio de la utilización de los embriones dobles presentes en las semillas (Couturon y Berthaud, 1982) y una técnica *in vitro* por androgénesis* (Carneiro, 1993). Sin embargo, las potencialidades de las técnicas de haploidización* en un esquema de selección siguen estando sin evaluar.

2.4.2 La transformación genética

Se trata de la técnica de biotecnología más reciente pero es probablemente la más prometedora. La liberación comercial de plantas transgénicas* o de sus productos no cesa de acelerarse; es el caso del maíz, la colza, el tomate y el tabaco. Esto indica que esta vía de mejoramiento llamada no convencional es actualmente difícil de eludir. La transformación genética encuentra su interés, esencialmente, en la medida en que no existe resistencia natural contra las enfermedades o los depredadores. Actualmente se utiliza sobre todo para dotar a la planta de resistencia contra los insectos con el fin de limitar el uso de pesticidas. Algunos laboratorios que trabajan con el caféto pretenden utilizar la transformación genética para modificar la calidad de productos como el contenido de cafeína o diferentes aromas. El dominio de la embriogénesis somática, que es el soporte ideal, ha dado la posibilidad a los investigadores de desarrollar técnicas de transformación genética. Plántulas transformadas por la introducción de un gen modelo llamado GUS, han sido obtenidas por la NESTLE en *C. arabica*, *C. canephora* y en el híbrido interespecífico Arabusta (Spiral *et al.*, 1993; Spiral y Pétiard, 1993). En 1997, Leroy *et al.*, informan acerca de la introducción de un gen de interés, que da resistencia al minador de las hojas.

Entre los límites actuales de los procedimientos de transformación genética, sobresalen el aislamiento de genes que presentan un interés agronómico y la baja eficacia de la transformación (lograr introducir el gen ajeno y obtener su expresión). Esperando los progresos de la investigación, se multiplican los debates sobre la posibilidad de una fuga de genes; es decir, sobre los riesgos de transmisión del gen ajeno a otras especies una vez que las plantas transgénicas estén en el campo; sobre los efectos a largo plazo de la introducción de un nuevo gen en un organismo, y sobre la idoneidad de los alimentos producidos por las plantas transgénicas para el consumo humano.

2.5 *Interés de la biotecnología en el café*

La herramienta biotecnológica es utilizada en el café con tres fines:

- Recortar el ciclo de selección para *C. arabica* gracias a la micropropagación de híbridos (F1, F2, retrocruzamientos) y/o por la utilización de plantas haploides.
- Multiplicar rápidamente los genotipos de *C. canephora* en las regiones de mediana altitud donde la multiplicación por esquejes presenta problemas, o bien, para acelerar la instalación de jardines clonales.
- Transformar genéticamente las plantas para la obtención de resistencia a insectos (ejemplo: utilización de genes de *Bacillus thuringiensis* para luchar contra el minador de las hojas y la broca), y para la obtención de plantas sin cafeína.

3 *Propagación Masal en el Café*

Se define bajo el nombre de "propagación masal" todas las técnicas de propagación vegetativa, ya sean hortícolas o de micropropagación que permiten la multiplicación conforme y rápida a gran escala de un cultivar.

3.1 *Complementariedad de la propagación vegetativa hortícola y la micropropagación*

La reproducción por estacas hortícolas es una práctica muy utilizada en *C. canephora*. En esta planta alógama* (fecundaciones cruzadas obligatorias), las estacas permiten multiplicar árboles seleccionados masivamente, y aprovechar de esta manera una mayor productividad en comparación con las variedades provenientes de semillas (Capot, 1975). Sin embargo, el número de estacas ortotrópicas* que puede producir un café es limitado. En el marco de una multiplicación a gran escala, esto puede conducir a lapsos considerables entre la creación de una variedad y su posterior difusión. Además, la reproducción por estacas exige la instalación de jardines clonales, lo que implica diversos problemas; entre ellos el mantenimiento de las superficies utilizadas (Deuss y Descroix, 1984).

En *C. arabica* (planta autógama*), la propagación vegetativa hortícola se utiliza poco. Las variedades son vendidas en forma de semillas

después de un proceso de selección genealógico relativamente largo, unos veinte años como mínimo (capítulo 12). Esta selección permite obtener una variedad generalmente estable y homocigótica para los caracteres buscados. La propagación vegetativa presenta a pesar de todo un interés en *C. arabica*. En efecto, la superioridad de los híbridos F1 de *C. arabica* sobre las variedades ha sido demostrada (Van der Vossen y Walyaro, 1981) en Kenia, en Etiopía (Ameha, 1983) y más recientemente en América Central (Bertrand *et al.*, 1997a, b). Para multiplicar la estructura heterocigótica que constituye un híbrido F1, hay que recurrir a la multiplicación vegetativa. Ahora bien, se han realizado pruebas de explotación de híbridos F1 multiplicados por los métodos de propagación vegetativa hortícolas, no obstante, han tenido poco éxito, debido a que solo han permitido bajas tasas de multiplicación (Van der Vossen, 1985).

Las técnicas de micropropagación pueden entonces encontrar su aplicación en la multiplicación masal de clones* seleccionados de *C. canephora*, así como de híbridos interespecíficos como el Arabusta, o bien la de híbridos intraespecíficos de *C. arabica* como el Riuru 11 o los obtenidos entre individuos silvestres y variedades (Bertrand *et al.*, 1997a, b).

3.2 Micropropagación por microestacas

La técnica de microestacas* del café fue desarrollada por Dublin (1980, 1984) y Custers (1980). El principio de esta técnica está basado en el de las estacas hortícolas, solo que se realiza *in vitro*. Su objetivo es favorecer la formación de tallos. Esta técnica comprende tres fases (figura 13-1): i) la instalación del material vegetal *in vitro* seguida de la obtención de micro tallos (foto 13-1) provenientes de la inducción de las yemas axilares; ii) la multiplicación de microtallos; iii) el enraizamiento *in vitro* de los microtallos y su aclimatación* a condiciones de almárgo (foto 13-2).

La principal ventaja de las microestacas está garantizada por una propagación totalmente conforme de la planta madre, la cual ha sido confirmado ampliamente por los experimentos en el campo (Berthouly *et al.*, 1987; Berthouly, 1989). Sin embargo, la técnica de microestacas sigue siendo una metodología costosa ya que tiene una manipulación pesada. Además, no ofrece sino una tasa de multiplicación limitada que varía entre 7 y 9 cada 3 meses. Esta técnica utilizada a temperaturas de cultivo bastante bajas representa un método de conservación seguro que permite los intercambios de material exento de enfermedades entre los países.

Multiplicación mediante microestacas

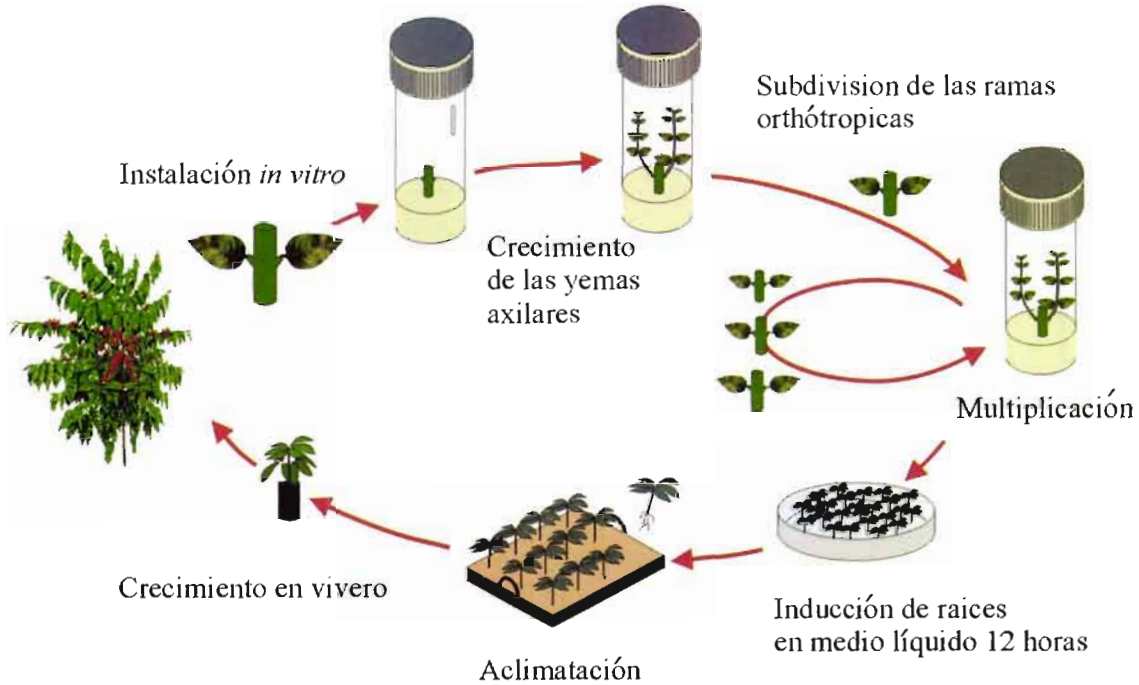


Figura 13-1. Esquema de las diferentes etapas del procedimiento de micropropagación por microestacas en el café.



Foto 13-1. Manipulación de las microestacas en condiciones estériles. Los tallos desarrollados *in vitro* se limpian y luego se seccionan. Las diferentes microestacas obtenidas son transferidas a un nuevo medio.



Foto 13-2. Aclimatación de las microestacas de café a condiciones de vivero.

3.3 *Micropropagación por embriogénesis somática*

3.3.1 *Definición y reseña histórica de la embriogénesis somática*

La embriogénesis somática* es la más clara expresión del fenómeno de totipotencia* de las células vegetales (párrafo 2.2). En efecto, este concepto enunciado desde 1902 por Haberlandt no fue verificado sino en 1958 por Stewart, quien obtuvo los primeros embriones artificiales o somáticos. Estos embriones son parecidos a los embriones cigóticos presentes en la semilla pero provienen de las células somáticas*, es decir no implicadas en el proceso sexual (fecundación*). La embriogénesis somática caracteriza más generalmente el conjunto de los procedimientos que permiten producir clones de embriones a partir de un genotipo y regenerar plántulas a partir de los mismos. Estos embriones somáticos y estas plántulas serán genéticamente idénticos a las células de las cuales provienen. Los embriones somáticos se desarrollan pasando por estados bien definidos idénticos a los observados en el embrión cigótico (Ammirato, 1987).

Este modo de reproducción vegetativa, existente en estado natural en algunas especies (Tisserat *et al.*, 1979) ha sido ampliamente estudiado desde los años 1960 por medio del cultivo *in vitro*. Los primeros ejemplos de embriogénesis somática fueron señalados por Stewart *et al.* (1958) y por Reinert (1958) a partir de células de zanahoria. Es unánimemente aceptado que esta técnica presenta las mayores potencialidades. Permite en efecto, las tasas de multiplicación más elevadas, el cultivo en medio líquido y la producción de grandes cantidades de embriones similares a los encontrados en las semillas.

3.3.2 *La embriogénesis somática en el café*

Los primeros trabajos sobre embriogénesis somática del café fueron publicados por Staritsky (1970). Sharp *et al.* (1973), trabajando sobre diversas partes vegetales de *C. arabica*, manifiestan que la posibilidad de obtener la embriogénesis somática depende del origen de la pieza vegetal utilizada. En el café, la embriogénesis somática puede ser obtenida a partir de diferentes partes de la planta: tallos (Dublin, 1980; Staritsky y Van Hasselt, 1980), hojas (Herman y Hass, 1975; Söndahl y Sharp, 1977; Dublin, 1981; Yasuda *et al.*, 1985), óvulos* (Lanaud, 1981), anteras (Ascanio y Arcia, 1987), protoplastos* (Spiral y Pétiard, 1991; Acuña y Peña, 1991). Estos resultados demuestran la aptitud del café a la regene-

ración* por embriogénesis somática; sin embargo, depende igualmente de la especie (*C. arabica*, *C. canephora*) y del genotipo (Staritsky y Van Hasselt, 1980).

Para obtener la regeneración* de embriones somáticos, se utiliza una gran variedad de secuencias de medios nutritivos. De manera general, la embriogénesis somática puede obtenerse por medio de dos estrategias (figura 13-2):

1. *La embriogénesis somática directa o baja frecuencia.* Se realiza en una sola fase, por cultivo en un medio único y únicamente permite la obtención rápida de embriones somáticos en cantidades limitadas.
2. *La embriogénesis somática indirecta o alta frecuencia.* Se desarrolla en dos fases, por cultivo de la pieza vegetal en un primer medio para iniciar una proliferación celular llamada callogénesis*; luego en un segundo medio para obtener el desarrollo de las células embriogénicas en embriones somáticos (Söndahl y Sharp, 1977; Dublin, 1984). Este modo de embriogénesis somática permite la regeneración de un gran número de embriones, de ahí el término de alta frecuencia. Basándose en la embriogénesis somática de alta frecuencia, numerosos equipos han informado de la utilización de medios líquidos para la producción masiva de embriones somáticos en *C. arabica*, *C. canephora* e híbridos interespecíficos (Neuenschwander y Baumann, 1992; Zamarripa *et al.*, 1991; Söndahl y Noriega, 1992; Ducos *et al.*, 1993; Van Boxtel y Berthouly, 1996).

3.4 Etapas de la propagación masal por embriogénesis somática

La integración de varias fases de cultivo en medio líquido (multiplicación de los tejidos embriogénicos, producción de embriones somáticos) en el proceso de embriogénesis somática de alta frecuencia, permite una propagación a gran escala de las plantas seleccionadas (Ammirato, 1983). Generalmente se admite que el éxito de la micropropagación masal necesita la manipulación de diferentes etapas (Pétiard *et al.*, 1992; figura 13-2): 1) establecimiento de los cultivos embriogénicos; 2) multiplicación y conservación de los cultivos embriogénicos; 3) producción de embriones somáticos en biorreactor*; 4) germinación de embriones somáticos y conversión en plántulas.

Embriogénesis somática directa o indirecta

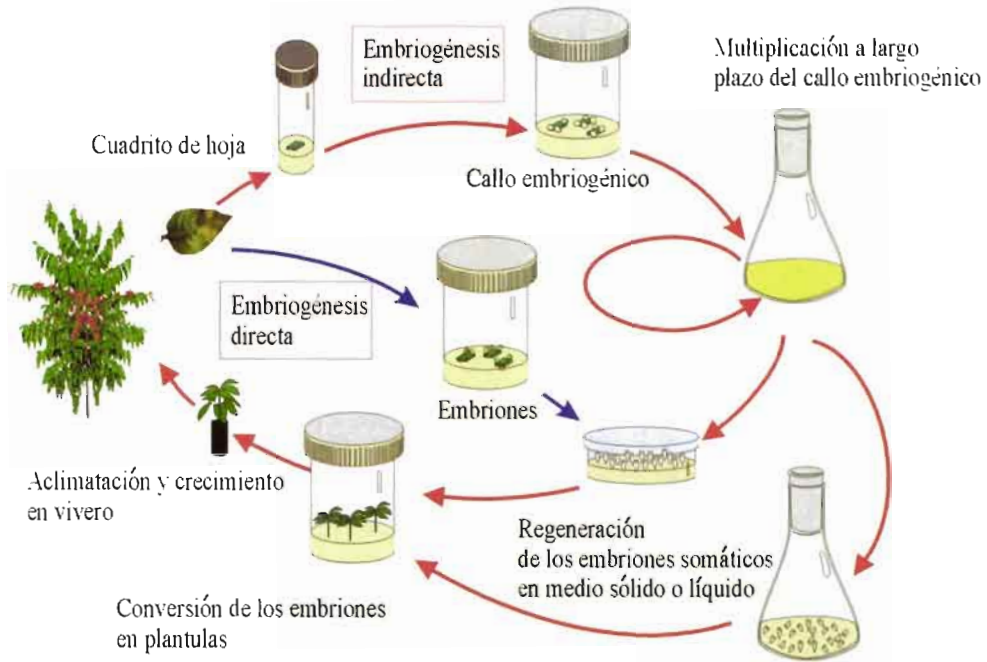


Figura 13-2. Esquema de los dos tipos de embriogénesis somática en el café: embriogénesis somática directa o de baja frecuencia y embriogénesis somática indirecta o de alta frecuencia.

3.4.1 Establecimiento de cultivos celulares embriogénicos

El establecimiento de cepas embriogénicas conlleva generalmente dos etapas: la primera consiste en la obtención de callos* o proliferaciones celulares, y se realiza generalmente en un medio gelificado rico en hormonas vegetales (Ammirato, 1983) para facilitar la adquisición de la aptitud a la embriogénesis somática. El genotipo, la composición del medio y las condiciones de cultivo son factores importantes para la obtención de cultivos embriogénicos (Ammirato, 1983; Thorpe, 1988). La segunda etapa es el trasplante del callo primario en un medio desprovisto o muy pobre en un tipo de hormona vegetal particular llamado auxina*. El choque auxínico provoca la evolución del callo primario, que no posee la capacidad de regenerar embriones, en un callo embriogénico (foto 13-3) en el cual la mayoría de las células pueden regenerar una planta entera.

3.4.2 Multiplicación y conservación de los cultivos embriogénicos

El callo embriogénico se transfiere a un medio líquido, de composición específica para cada especie y genotipo, el cual es agitado en un pequeño frasco Erlenmeyer (foto 13-4), con el fin de obtener su multiplicación. Una suspensión celular embriogénica se establece de esta manera (foto 13-4). La multiplicación y la conservación de cultivos embriogénicos se realizan habitualmente por trasplantes regulares a medios de cultivo nuevos. Una limitación importante para la aplicación comercial del procedimiento es la pérdida de la capacidad de regeneración de los cultivos embriogénicos observada durante los trasplantes sucesivos (Smith y Street, 1974). Para disminuir este problema, deben integrarse al procedimiento, estrategias de conservación tales como la crioconservación de las suspensiones celulares embriogénicas.

3.4.3 Producción de embriones somáticos en medio líquido: frascos Erlenmeyer y biorreactores

La micropropagación a gran escala implica el correcto manejo de la producción de embriones somáticos en medio líquido. El método de cultivo más conocido para iniciar la regeneración de las suspensiones es la utilización del frasco Erlenmeyer de 100 o 250 ml. Sin embargo, para una producción de embriones somáticos a gran escala, la utilización de biorreactores de 3 a 20 litros parece ser la más apropiada (Pétiard *et al.*,



Foto 13-3. Formación de un callo embriónico. Este presenta un color amarillo vivo y posee una textura muy friable.

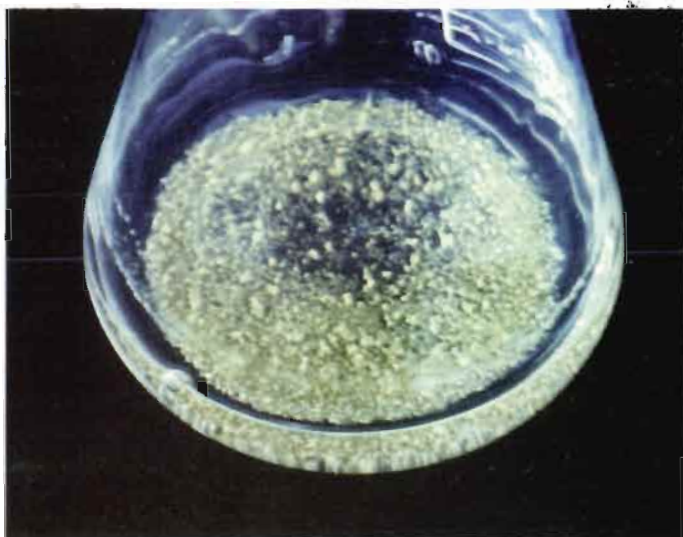


Foto 13-4. Multiplicación del callo embriónico en frasco Erlenmeyer. El callo friable, se disgrega naturalmente bajo el efecto de la agitación. Así se obtiene una suspensión embriónica, que puede mantenerse durante dos años.

1992). Actualmente, la utilización de estos biorreactores sigue siendo limitada. Pruebas de factibilidad y de cambios de escala han sido realizadas en zanahoria (Ammirato y Styer, 1987), alfalfa (Stuart *et al.*, 1987) y *Poinsettia* (Preil y Beck, 1991). El número reducido de trabajos en biorreactores se explica por el costo elevado y la sofisticación de estos aparatos pero también porque el cultivo en biorreactor requiere un excelente manejo de la embriogénesis somática en medio líquido y un conocimiento en ingeniería bioquímica. El paso del frasco Erlenmeyer al biorreactor conduce a menudo a una reducción de la eficacia de la regeneración (Stuart *et al.*, 1987; Zamarripa, 1989).

3.4.4 Germinación de los embriones somáticos y conversión a plántulas

La última etapa consiste en la conversión de embriones somáticos en plantas aptas para el paso al almácigo y al campo. Se desarrolla normalmente en medio gelificado (foto 13-5). Stuart *et al.* (1987) notaron que la utilización de biorreactores durante la producción de embriones somáticos afecta fuertemente el grado de conversión en plantas de alfalfa; 2 a 3% contra 70% a 90% para los obtenidos en medio gelificado. Estos problemas de desarrollo están en gran parte ligados a los problemas fisiológicos provocados por el contacto permanente con el líquido y la agitación constante de los embriones, que limitan el establecimiento de su polarización. Debido a que la obtención de plantas que se aclimaten, impone el regreso de los embriones obtenidos en medio líquido, a un medio gelificado, la posibilidad de utilización industrial de la embriogénesis somática, permanece entonces fuertemente limitada. Esto implica, en efecto, un costo de producción muy elevado debido al precio exorbitante de los agentes gelificadores, la cantidad importante de recipientes utilizados, la manipulación individual de todos los embriones y la necesidad de infraestructura más desarrollada.

3.5 Los riesgos de variaciones somaclonales en micropropagación

3.5.1 Definición y origen de las variaciones somaclonales

Se sabe, desde que se realizaron los trabajos de Larkin y Scowcroft en 1981, que la micropropagación, y en particular la embriogénesis somática,

pueden generar modificaciones del genoma, llamadas variaciones somaclonales, que conducen a una variabilidad entre los individuos de un mismo clon*. Las plantas afectadas por una variación somaclonal*, presentan diferencias en su aspecto con respecto a la planta madre, y, por lo tanto, no son conformes a la misma.

Existen dos clases de variaciones somaclonales (Evans y Sharp, 1983; Karp, 1991): i) Cambios heredables, estables (no reversibles) ligados a la modificación del genoma, ii) Cambios no heredables y transitorios o epigenéticos* que modifican la expresión del genoma. El origen de tales variaciones se atribuye a un uso excesivo de hormonas vegetales en el medio de cultivo, en particular la auxina*, y a velocidades de proliferación celular demasiado grandes. En general, la aparición de la variación* somaclonal implica una etapa de crecimiento celular desorganizada, de tipo callo, o meristemo adventicio (Karp, 1991). Afecta a la mayoría de las especies vegetales así como las algas y los hongos. Finalmente hay que señalar que depende a menudo de la variedad (Mohmand y Nabors, 1990; Freytag *et al.*, 1989). Esto fue igualmente demostrado en el caso del café (Söndahl y Lauritis, 1992).

3.5.2 Variaciones somaclonales en embriogénesis somática del café

En el café, de manera general, hay muy pocos datos disponibles sobre el comportamiento en el campo y la conformidad genética de las plantas provenientes de la embriogénesis somática. Los únicos trabajos publicados son los realizados por Söndahl en Brasil (Söndahl y Bragin, 1991; Söndahl y Lauritis 1992), pero se conoce que los equipos de investigación de NESTLE (Suiza) y de CENICAFE (Colombia) han establecido también ensayos. Söndahl registra un 10% de variabilidad en las 12 176 plantas de *C. arabica* evaluadas. Entre las variantes, señaló modificaciones que afectan la morfología de las hojas y de las ramas, el tamaño de las plantas, el color y la forma del fruto, un aumento de la producción, una variabilidad en la precocidad de la maduración y susceptibilidad/tolerancia a algunas enfermedades. Los resultados de los equipos de NESTLE y de CENICAFE sobre la variación somaclonal parecen divergir de los de Söndahl e indicarían una buena conformidad del procedimiento de reproducción por embriogénesis somática (comunicaciones personales).

Algunos equipos buscan utilizar la variación somaclonal como fuente de variabilidad genética al estimular su aparición. En efecto, es admitido que, en las especies cuyos sistemas de selección son limitantes y en cultivos que no han sido sometidos a una selección intensiva, como es más o menos

el caso del café, la variación somaclonal puede liberar una nueva fuente de variabilidad (Larkin y Scowcroft, 1981; Karp, 1991).

3.6 Los límites de los trabajos realizados sobre la embriogénesis somática del café

Las críticas que se pueden hacer a las investigaciones realizadas hasta ahora en el café son en gran parte válidas para las otras especies. Muy a menudo se han descrito los procedimientos de producción de los embriones somáticos, pero la calidad de estos embriones y las condiciones de cultivo que permiten su germinación, así como su conversión en plantas, han sido poco estudiadas. Por otro lado, estos estudios no han dado cuenta del análisis de la homogeneidad de las vitroplantas* obtenidas y de su conformidad con la planta madre. Finalmente ningún trabajo se ha realizado hasta ahora, en apoyo a un programa de selección, lo que habría permitido validar el método en su dimensión real y con una amplia gama de genotipos. Estos tres puntos limitan hoy la utilización de la técnica de embriogénesis somática para la propagación masal. Actualmente no existen procedimientos de embriogénesis somática utilizados industrialmente.

4 Desarrollo de un Procedimiento de Micropropagación Masal por Embriogénesis Somática en América Central

4.1 Descripción del dispositivo actual en micropropagación del café en América Central

Desde hace aproximadamente 18 años, se han llevado a cabo investigaciones sobre el cultivo *in vitro* del café, conjuntamente por el CIRAD y el CATIE en Costa Rica, bajo el marco de PROMECAFE y se han desarrollado laboratorios de cultivo de tejidos en el Salvador, Guatemala y Honduras desde 1986. En 1997, CICAPE en Costa Rica fue dotado igualmente de un laboratorio. El desarrollo de la micropropagación del café en la región continúa realizándose en el marco de PROMECAFE a partir del laboratorio de biotecnología del CATIE. Los objetivos inscritos en el proyecto de mejoramiento genético de *C. arabica* son de dos tipos: 1)

Introducir *in vitro*, multiplicar y difundir a los países miembros de PROMECAFE el material mejorado proveniente de la creación varietal, variedades F1 y variedades porta injertos; 2) Elaborar una metodología de propagación masal por embriogénesis somática y transferirla a las instituciones que participan en el proyecto de mejoramiento.

4.2 Las estrategias de mejoramiento escogidas imponen la utilización de la vitroplanta

4.2.1 Ejemplo de la multiplicación de los padres de la variedad Nemaya

Un híbrido entre dos *C. canephora* reveló ser altamente resistente, incluso en algunos casos inmune a diferentes poblaciones de nematodos *Meloidogyne* y de *Pratylenchus*. Se trata del híbrido T3751 (1-2) x T3561 (2-1), denominado variedad Nemaya por los investigadores que lo obtuvieron (Anzueto *et al.*, 1995; capítulo 12). Como las necesidades de un portainjerto más tolerante a los nematodos son enormes, el mejor medio de producirlo a gran escala, es instalar jardines semilleros donde los dos padres se cultiven uno al lado del otro (capítulo 12). Cada árbol producirá de esta manera semillas de variedad Nemaya. Como *C. canephora* es alógamo, se impone una multiplicación vegetativa. Una multiplicación por vía vegetativa hortícola no es posible debido a que es necesario producir una gran cantidad de cada uno de los progenitores y no existe más que un único individuo en el seno de la colección del CATIE. El número de tallos ortotrópicos disponibles, ya sea para sacar estacas, o para injerto, es muy limitado. Se escogió entonces multiplicar los dos padres por embriogénesis somática.

4.2.2 El ejemplo de la multiplicación de los híbridos F1 de *C. arabica*

Desde 1992, PROMECAFE inició un programa original de mejoramiento genético de *C. arabica*, cuyo principio se basa en la hibridación de variedades por medio de orígenes silvestres provenientes de Etiopía y de Sudán (capítulo 12). Las técnicas de micropropagación *in vitro* y más particularmente la embriogénesis somática representan el mejor medio de multiplicar masivamente los híbridos F1 seleccionados.

4.2.3 Calidades requeridas por el método de micropropagación masal adoptado

En el año 2003, diferentes híbridos F1 de *C. arabica* deberán ser escogidos (Bertrand *et al.*, 1997 a, b). Será entonces indispensable poseer una técnica de propagación masal de muy buenas calidades técnicas que permita la difusión comercial de los mejores híbridos.

Para que sea operacional a nivel industrial, la técnica de embriogénesis somática desarrollada debe responder a 4 exigencias:

1. Poseer una productividad elevada y lograr costos de producción bajos.
2. Permitir la propagación rutinaria de la totalidad de los híbridos retenidos por los seleccionadores.
3. Permitir una producción de vitroplantas continua en laboratorio para bajar los costos de producción. Aunque la plantación del café sea estacional, hay que llegar a repartir la producción en el tiempo para evitar congestionar el laboratorio.
4. No provocar la aparición de variantes somaclonales.

Los objetivos de las investigaciones realizadas en el marco del proyecto de mejoramiento derivan directamente de estas exigencias. Ellos son: i) el mejoramiento de la calidad técnica y de la productividad del procedimiento; ii) la realización de un estudio de factibilidad de la embriogénesis somática que se basa en un cambio de escala entre producción experimental y producción masal, lo que permitirá la evaluación científica y económica del procedimiento, y, finalmente; iii) la verificación de la conformidad genética de las plantas.

4.3 Búsqueda de una productividad elevada del procedimiento de embriogénesis somática

4.3.1 El contexto económico

Las técnicas de micropropagación utilizadas comercialmente se fundamentan en los brotes de los tallos. Son técnicas caras que imponen un trabajo manual intensivo y calificado, lo que representa dos tercios del precio de costo de la vitroplanta (Donnan, 1986; Standaert de Metsenaere, 1991). El desarrollo de una producción comercial se limita entonces actualmente a algunas especies para las cuales el precio de las semillas es elevado. La embriogénesis somática es la técnica que ofrece las más grandes

oportunidades para la micropropagación a gran escala. Su utilización permitiría remediar las limitaciones de las técnicas anteriores. A pesar de esto, no existe todavía, en ninguna especie, un ejemplo de utilización industrial de la embriogénesis somática. Entre las múltiples razones invocadas, la principal es el costo demasiado elevado de los embriones y de las plantas producidas. En el cafeto Arabica, las densidades de plantación muy elevadas (entre 5000 y 7000 plantas/ha), obligan aún más a una fuerte productividad con el fin de que la inversión en la plantación de vitroplantas no sea prohibitiva. Discutiremos las limitaciones técnicas de estos procedimientos y las innovaciones técnicas que se aportaron en el caso del café para tratar de bajar los costos de producción.

4.3.2 *Las innovaciones técnicas*

La embriogénesis somática de alta frecuencia fue escogida por su capacidad para producir grandes cantidades de embriones somáticos en medio líquido. A partir de los trabajos publicados por Van Boxtel y Berthouly en 1996, un procedimiento original fue desarrollado en el Centro Agronómico Trópic de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Este procedimiento de embriogénesis somática se compone de 4 fases de cultivo recomendadas para la producción en masa (figura 13-3): obtención del callo embriogénico, multiplicación a largo plazo de dicho callo en medio líquido, producción de los embriones somáticos en medio líquido, germinación y conversión de los embriones en plantas.

La búsqueda de una productividad elevada llevó a abandonar las técnicas utilizadas tradicionalmente para la producción de embriones somáticos, la producción de plantas y la aclimatación*. De esta manera, dos sistemas de cultivo originales fueron desarrollados: i) la producción de embriones somáticos en biorreactores simplificados; ii) la siembra directa de los embriones somáticos obtenidos en biorreactor en condiciones de vivero donde se realiza la conversión en plantas.

a) Producción de los embriones somáticos en biorreactor simplificado

A pesar de que la utilización de medios líquidos ha hecho posible la producción masal de embriones somáticos en los frascos Erlenmeyers o en biorreactores en unas veinte especies que incluyen la zanahoria (Ammirato y Styer, 1985), la alfalfa (Stuart *et al.*, 1987), *Picea* (Tautorus *et al.*, 1992) y el cafeto (Pétiard *et al.*, 1993b); estos procedimientos todavía

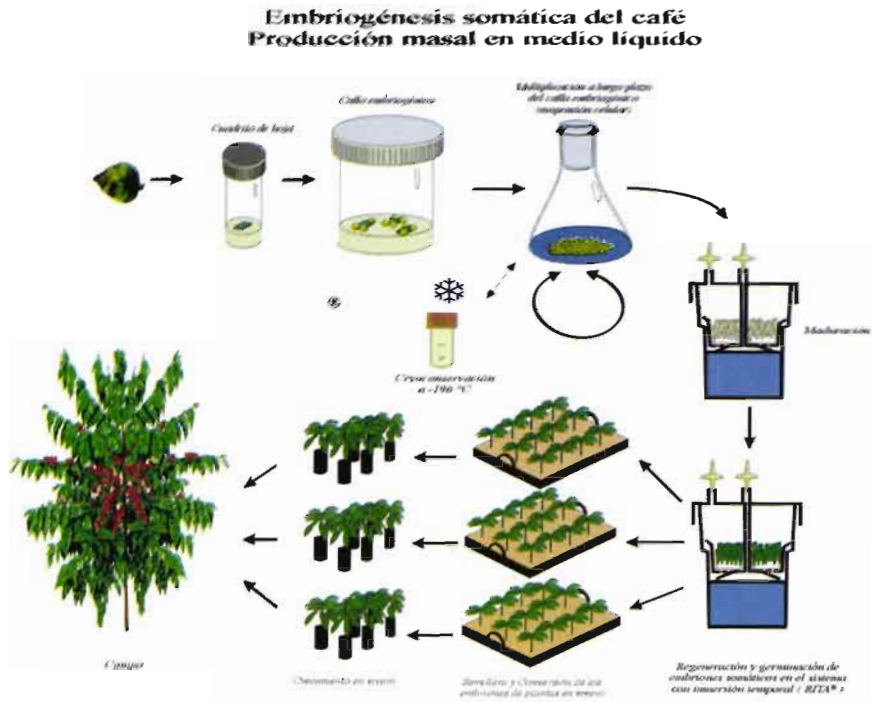


Figura 13-3. Representación del procedimiento de propagación masal por embriogénesis somática desarrollado en América Central para la multiplicación de híbridos F1 de *Coffea arabica*. La doble originalidad de este procedimiento reside en la utilización de un biorreactor simplificado para la producción de los embriones somáticos y su siembra directa en sustrato hortícola en vivero.

deben ser optimizados. Se han dado a conocer problemas de calidad de los embriones (desarrollo asincrónico de la población de embriones, anomalías morfológicas, heterogeneidad del tamaño) ligados a la agitación y a la inmersión permanente del material vegetal en el medio líquido, lo cual hace necesario la selección y la separación de los embriones aptos para germinar. De esta manera, el regreso a un medio gelificado realizado manualmente sigue siendo obligatorio, cualquiera que sea la especie, para obtener la germinación y la conversión de los embriones en plantas (foto 13-5).

Para mejorar la calidad de los embriones y evitar este regreso al medio gelificado durante las etapas terminales de los procedimientos de embriogénesis somática, un nuevo sistema de cultivo en inmersión temporal llamado RITA® (Teisson y Alvard, 1995) fue concebido por el CIRAD (foto 13-6). Se aplicó con éxito en diferentes especies que incluyen el café y con diferentes sistemas de micropropagación (Alvard *et al.*, 1993; Berthouly *et al.*, 1995; Etienne *et al.*, 1997b). Este recipiente conserva las ventajas de los sistemas de cultivo en medio líquido y permite eliminar los problemas fisiológicos observados con los biorreactores y los frascos Erlenmeyer. La inmersión temporal permite por primera vez, en un mismo contenedor y con simples cambios de medio, el desarrollo de plántulas a partir de suspensión embriogénica. El contacto de los explantes con el medio de cultivo líquido se reduce a algunos minutos por día, lo que permite eliminar los desórdenes fisiológicos ligados a la inmersión permanente. Además, el RITA®, se diferencia de los biorreactores clásicos por su funcionamiento simple, su facilidad de manipulación y su costo relativamente bajo (US\$55 en 1997).

La evaluación de la eficacia de un procedimiento de micropropagación debe hacerse a partir del análisis de las cantidades de vitroplantas producidas que constituyen el producto final. Estos datos han sido escasamente reportados en la bibliografía donde solo se mencionan las cantidades de embriones somáticos. Gracias a la utilización de este bioreactor simplificado, ha sido posible para la mayoría de los híbridos F1 de *C. arabica*, obtener producciones de aproximadamente 2000 embriones somáticos por biorreactor listos para sembrar una sola, lo que permite obtener 98 000 de ellos por m² de superficie al final del cultivo *in vitro*. El éxito en siembra es de 50%, este procedimiento de embriogénesis somática permite entonces la producción de 49 000 plantas/ m² de superficie *in vitro* cada 6 meses. Si nos interesamos en la productividad del sistema, este procedimiento permite obtener, según el híbrido utilizado, de 7 500 a 15 000 plantas aclimatadas por gramo de suspensión embriogénica.



Foto 13-5. Germinación de los embriones somáticos del café en medio de cultivo gelificado.



Foto 13-6. Cultivo en biorreactores simplificados de tipo "RITA®". El principio de este modo de cultivo en medio líquido se basa en la inmersión temporal del material vegetal. El sistema es automatizado. Se utiliza en el café para la producción masal de embriones somáticos a partir de la suspensión celular.

puesto a regenerar, después de 9 meses de cultivo (de los cuales 6 meses se realizaron *in vitro*). La homogeneidad y la calidad de los embriones producidos parecen ser excelentes (foto 13-7). Desde un punto de vista económico, el biorreactor en inmersión temporal nos permitió reducir bastante la mano de obra ligada a la manipulación del material vegetal, así como la superficie de estantes en el laboratorio (Etienne *et al.*, 1997a). Estos resultados son muy alentadores puesto que estos dos parámetros representan respectivamente el 70 y el 10% del costo de producción de la vitroplanta (Donnan, 1986; Standaert de Metsenaere, 1991).

b) *Siembra directa en almácigo de los embriones somáticos*

La siembra directa de los embriones somáticos en un sustrato hortícola simple debe permitir eliminar las últimas etapas de los procedimientos de embriogénesis somática que conducen a la obtención de plantas (Etienne-Barry *et al.*, 1999). Estas últimas etapas son las más costosas ya que implican la selección de embriones, numerosos trasplantes y la utilización de grandes cantidades de medios y cristalería, así como una gran superficie de estantes en laboratorio. La siembra directa de embriones somáticos sólo fue descrita en el caso de la alfalfa (Fujii *et al.*, 1989). En el marco de las investigaciones conducidas por PROMECAFE, esta técnica fue llevada a cabo en el cafeto Arabica (foto 13-8). Permite obtener luego de la siembra en sustrato, la germinación y la conversión en plantas de más de la mitad de los embriones somáticos obtenidos en biorreactor con inmersiones temporales (foto 13-9).

La aclimatación de vitroplantas en condiciones naturales constituye una etapa particularmente delicada en los procesos de cultivo *in vitro*. El ambiente *in vitro* es controlado y los tejidos de las vitroplantas (raíces, hojas) son frágiles y raramente funcionales. Los grados de pérdida registrados al momento del paso a *ex vitro* pueden reducir de manera drástica la eficacia de los procedimientos de micropropagación y limitar su utilización comercial (Villalobos *et al.*, 1984). En el caso de siembra directa, la aclimatación se resume en una simple siembra y se hace menos delicada puesto que el embrión aclimatado no posee raíces u hojas (foto 13-10). Las mismas se desarrollan directamente en condiciones de almácigo de manera comparable a las plantas provenientes de semillas y son perfectamente funcionales. Contrariamente al método de aclimatación tradicional (Etienne *et al.*, 1997d) donde la planta que posee 3 a 4 pares de hojas debe ser limpiada y cortada *in vitro*, luego bañada en una solución de enraizamiento (ver figura 13-1), el embrión somático puede ser sembrado sin condicionamientos.



Foto 13-7. Aspecto morfológico de los embriones somáticos producidos en biorreactor de inmersión temporal de tipo "RITA[®]". Se observa la homogeneidad de los embriones que se desarrollan en las tres dimensiones a partir de un conglomerado celular embriogénico. En un medio gelificado, los embriones se desarrollarían solamente en la parte superior del conglomerado.



Foto 13-8. Siembra directa de los embriones somáticos del café en vivero. Los embriones somáticos obtenidos en biorreactor con inmersión temporal son directamente transferidos a un sustrato hortícola. En estas condiciones, germinan rápidamente y regeneran plantas después de ocho semanas.



Foto 13-9. Aspecto de las plantas obtenidas cuatro meses después de siembra directa de los embriones somáticos en sustrato hortícola.



Foto 13-10. Aspecto de los embriones somáticos producidos en biorreactor que son utilizados para la siembra directa en sustrato hortícola.

Para concluir, podemos subrayar que con respecto al sistema convencional basado en la aclimatación de plantas de café obtenidas *in vitro* en medio gelificado, la siembra directa de embriones somáticos permite reducir a 3 meses la duración del cultivo *in vitro*, disminuir la cantidad de mano de obra en un factor 7, reducir ampliamente las superficies de cultivo *in vitro* y en vivero, y obtener más rápidamente plantas bien desarrolladas en vivero (3 meses menos) (foto 13-11). El conjunto de estas ganancias podría ser determinante para la aplicación industrial de la embriogénesis somática en el café.

4.4 Estudio de factibilidad de la micropropagación masal por embriogénesis somática

La experiencia muestra que no es posible aplicar directamente a nivel industrial un procedimiento de micropropagación instaurado en laboratorio de investigación, incluso si parece tener excelentes calidades técnicas. Es indispensable un estudio de factibilidad ya que reagrupa varios subestudios:

4.4.1 Cambios de escala

Si se desea pasar de la escala de laboratorio de investigación a la de unidad de producción es indispensable introducir una fase intermedia llamada estadio piloto. Con el fin de preparar la difusión comercial de los mejores híbridos, se deben llevar a cabo varias producciones piloto en escalas crecientes (de 300 000 a 1 000 000 plantas por año) para evaluar mejor los límites del procedimiento. Esto permitirá evaluar mejor los riesgos y problemas de una producción industrial, y adaptarse técnicamente de manera progresiva pero también evaluar más fielmente los costos de producción.

4.4.2 Evaluación económica

Es indispensable conocer, antes de la difusión comercial de los híbridos: i) los costos de producción de cada etapa del procedimiento, detallando la parte de mano de obra, los consumibles y la infraestructura; ii) realizar por otro lado, un estudio de mercado con el fin de conocer los volúmenes de producción en los cuales habrá que basarse. En función de esta última

información, será tal vez juicioso montar laboratorios que multipliquen varias especies de interés para la Región y cuya micropropagación sea bien manejada (banano, papas, etc.) Esto podrá igualmente permitir trabajar en laboratorio un flujo continuo y limitar de esta manera la infraestructura de laboratorio y de vivero, sabiendo que será difícil hacerlo sólo con el cafeto, cuya plantación es muy estacional.

4.4.3 Verificación de la aplicación del procedimiento a todos los genotipos

Cuando se establece un procedimiento de micropropagación, es difícil llevar en paralelo investigaciones sobre diferentes genotipos. Sin embargo, es indispensable verificar regularmente que las condiciones de cultivo establecidas permitan la propagación del conjunto de genotipos (Etienne *et al.*, 1997a, c). Estos experimentos permitieron verificar, sobre diez híbridos introducidos, que este procedimiento producía respuestas positivas en todas las fases de embriogénesis somática y, finalmente, permitió la propagación de todos los híbridos. Existen diferencias de respuesta ligadas al efecto genotípico, pero son suficientemente bajas para autorizar la utilización de un protocolo de cultivo único.

4.5 Verificación de la conformidad genética de las vitroplantas

Para disminuir la falta de información sobre la conformidad de las plantas propagadas por embriogénesis somática en el cafeto, se decidió instaurar una red multilocal en, al menos 20 sitios de 4 países de América Central con un dispositivo que abarca 20 000 plantas. Además varios ensayos que se están llevando a cabo en el CATIE y que se basan en 9000 plantas, están destinados específicamente al estudio de la variación somaclonal. Hasta ahora, no hemos observado variación somaclonal entre las 4000 vitroplantas que crecen en el campo o en almárgo (foto 13-12). Será posible, en el año 2000, aportar una respuesta completa sobre la conformidad de las plantas propagadas por embriogénesis somática.



Foto 13-11. Comparación de la morfología de las plantas provenientes de la siembra de embriones somáticos con la de las plantas provenientes de la siembra de semillas nueve meses después de la siembra y en condiciones de cultivo idénticas.



Foto 13-12. Producción de plantas procedientes de embriogénesis somática destinadas a instaurar ensayos agronómicos sobre la conformidad y la variación somaclonal.

5 Conclusiones: ¿Cuál es el Futuro de la Micropropagación Masal en América Central?

En América Central, el futuro de la micropropagación depende de diferentes parámetros. En primer lugar, depende de la plusvalía de las variedades F1 sobre las variedades tradicionales. Esta plusvalía no será liberada sino después de una comparación completa con las variedades que van del comportamiento agronómico hasta la calidad del café en la taza (capítulo 12). El futuro de la micropropagación en la Región está también condicionado directamente por las calidades del procedimiento de embriogénesis somática y más particularmente por los costos de producción. Los datos obtenidos sobre la productividad del procedimiento y la conformidad de las vitroplantas son alentadores. Las respuestas completas deberían ser obtenidas en el año 2000. Además, importantes mejoras técnicas parecen ser posibles todavía.

El progreso de la micropropagación dependerá también de la eficacia de la transferencia de la embriogénesis somática a los países participantes en el proyecto de mejoramiento. La transferencia de una tecnología de un laboratorio a otro constituye una dificultad bien conocida en el campo de la biotecnología y en particular en el campo del cultivo de tejidos. La estrategia utilizada para lograrla será determinante para el futuro de la micropropagación en la región. El desarrollo de la micropropagación se vería igualmente favorecido por la continuidad de su integración en esquemas de creación varietal, ya sean convencionales o no convencionales, basados en la utilización de la transformación genética.

El futuro de la micropropagación estará finalmente condicionado por la aceptación y la utilización de las vitroplantas por parte de los caficultores. En América Central la micropropagación ya es parte integral de la economía. El mejor ejemplo es la comercialización desde hace 10 años de vitroplantas de banano cuyo mercado no ha dejado de progresar desde entonces. Es igualmente el caso de la papa y de diferentes plantas ornamentales. Este logro ilustra el hecho que el reconocimiento del producto de la biotecnología por los productores es suficiente para que luego sea comercializado. El trabajo más importante será entonces convencer al usuario, es decir al caficultor, de la calidad de la vitroplanta. Es interesante notar que, en el caso del banano, 10 años separaron el momento en que se puso a disposición un procedimiento de micropropagación de plantas libres de patógenos que presentaban un real interés agronómico, de su demanda por parte de los productores. PROMECAFE propone acelerar la

aceptación de los híbridos por los productores al asociarlos a su selección. De esta manera, los campos de comportamiento clonal deberían ser instaurados desde 1999 en las fincas de los productores. Los mismos aplicarán sus prácticas culturales y, bajo la supervisión de las Instituciones Cafetaleras Nacionales, evaluarán el comportamiento agronómico de las variedades preseleccionadas.

Desde un punto de vista más general, se puede esperar que la micropropagación se beneficiará con el entusiasmo actual por la biotecnología. Numerosos expertos estiman que contribuirán fuertemente a la seguridad alimentaria del planeta jugando un triple papel: mantener la biodiversidad local, participar en la selección de las plantas utilizadas y aportar a estas plantas los caracteres útiles para el crecimiento de su producción a través del juego de las manipulaciones genéticas.

Bibliografía

- Abdelnour-Esquivel, A.; Villalobos, V.; Engelman, F. 1992. Cryopreservation of zygotic embryos of *Coffea* spp. *Cryo-Letters* 13: 297-302.
- Acuña, J.R.; De Peña, M. 1991. Plant regeneration from of embryogenic cell suspensions of *Coffea arabica* L. cv. Caturra. *Plant Cell Rep.* 10: 345-348.
- Alvard, D.; Côte, F.; Teisson, C. 1993. Comparison of methods of liquid medium culture for banana micropropagation. Effects of temporary immersion of explants. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 8: 185-196.
- Ameha, M. 1983. Heterosis in crosses of indigenous coffee selected for yield and resistance to coffee berry disease. I. First bearing stage. *Acta Horticultural* 140: 155-161.
- Ammirato, P.V. 1983. Embryogenesis. In *Handbook of plant cell culture; 1: techniques for propagation and breeding*. Ed. por D.A. Evans, W.R. Sharp, P.V. Ammirato y Y. Yamada eds. Nueva York, EE.UU., Macmillan Publishing Company. p. 82-103.
- _____. 1987. Organized events during somatic embryogenesis. In *Plant biology plant tissue and cell culture, 3*. Ed. por C.E. Green, D.A. Somers, W.P. Hackett y D.D. Biesboer. Nueva York, EE.UU., Alan R. Liss. p. 57-81.
- _____.; Styer, D.J. 1985. Strategies for large scale production of somatic embryos in suspension culture. In *Biotechnology in plant science: relevance to agriculture in the 1980's*. Ed. por M. Zaitin, P. Day y A. Hollaender. Nueva York, EE.UU., Academic Press. p. 161-178.
- Anzueto, F.; Bertrand, B.; Peña, M.; Marban-Mendoza, N.; Villain, L. 1995. Desarrollo de una variedad porta-injerto resistente a los principales nematodos de America Central. In *17 Simposio sobre Caficultura Latinoamericana*. San Salvador, El Salv., 24-27 de octubre, 1995. PROMECAFE.

- Aponte de Londoño, M.E.; Roca, W.; Rodríguez, J. 1981. Cultivo de meristemas de café. *Cenicafé* 3: 160-161.
- Ascanio, E.C.E.; Arcia, M.M.A. 1987. Haploids from anther culture in *Coffea arabica* L. In International Congress of Plant Tissue Culture, Tropical Species. Bogotá, Col., 11-15 de setiembre, 1987. Resumen. p. 68.
- Berthouly, M. 1989. Micropropagación del café. In Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agricultura Cafetalera. Xalapa, Méx., 12-15 de abril, 1989. p. 17-28.
- _____; Guzmán, N.; Chatelet, P. 1987. Micropropagation *in vitro* de différentes lignées de *Coffea arabica* V. catimor. In 12 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montreux, Francia. 29 de junio-3 de julio, 1987. Vevey, Suiza, ASIC. p. 462-467.
- _____; Dufour, M.; Alvard, D.; Carasco, C.; Teisson, C. 1995. In 16 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Kyoto, Japón, 9-14 de abril, 1995. Vevey, Suiza, ASIC. p. 514-519.
- _____; Michaux-Ferrière, N. 1996. High frequency somatic embryogenesis in *Coffea canephora*: induction conditions and histological evolution. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 44: 169-176.
- Bertrand, B.; Aguilar, G.; Santacreo, R.; Anthony, F.; Etienne, H.; Eskes, A.B.; Charrier, A. 1997a. Comportement d'hybrides F1 de *Coffea arabica* pour la production et la fertilité en Amérique centrale. In 17 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Nairobi, Kenia, 21-25 de julio, 1997. Vevey, Suiza, ASIC. p. 415-423.
- _____; Aguilar, G.; Santacreo, R.; Anthony, F.; Etienne, H. 1997b. Comparación de híbridos F1 con variedades de *Coffea arabica*. In 18 Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José, C.R., 16-18 de setiembre, 1997. PROMECAFE. p. 245-251.
- Bertrand-Desbrunais, A.; Fabre, J.; Engelman, F.; Dereuddre, J.; Charrier, A. 1988. Reprise de l'embryogenèse adventive à partir d'embryons somatiques de caféiers (*Coffea arabica* L.) après leur congélation dans l'azote liquide. *C. R. Acad. Sci. Paris* 307: 795-801.
- _____; Charrier, A. 1989. Conservation des ressources génétiques caféière en vitrothèque. In 13 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Paipa, Col., 21-25 de agosto, 1989. Vevey, Suiza, ASIC. p. 438-477.
- _____; Noirot, M.; Charrier, A. 1991. Minimal growth in *in vitro* conservation of coffee (*Coffea* spp.) 1. Influence of low concentrations of 6-Benzyladenine. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 27: 333-339.
- Capot, J. 1975. Obtention et perspectives d'un nouvel hybride de caféier en Côte d'Ivoire : L'Arabusta. In 7 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Hambourg, Alemania, 9-14 de junio, 1975. Vevey, Suiza, ASIC. p. 449-457.
- Carneiro, M.F. 1993. Induction of double haploids on *Coffea arabica* cultivars via anther or isolated microspores culture. In 15 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montpellier, Francia, 6-11 de junio, 1993. Vevey, Suiza, ASIC. p.133.

- Couturon, E.; Berthaud, J. 1982. Présentation d'une méthode de récupération d'haploïdes spontanés et d'obtention de plantes diploïdes homozygotes chez les caféiers de l'espèce *C. canephora*. In 10 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. San Salvador, El Salv. Vevey, Suiza, ASIC. p. 385-391.
- Custer, J.B.M. 1980. Clonal propagation of *Coffea arabica* L. by nodal culture. In 9 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Londres, Reino Unido. 16-20 de junio, 1980. Vevey, Suiza, ASIC. p. 589-596.
- Deuss, J.; Descroix, F. 1984. Le bouturage du caféier robuste dans le programme de replantation de la caféière au Togo. *Café Cacao Thé* 28(3): 165-178.
- Donnan, A. 1986. Determining and minimizing production costs. In *Tissue culture as a plant production system for horticultural crops*. Ed. por R.H. Zimmerman, R.J. Griesbach, R.A. Hammershlag y R.H. Lawson. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publ. p. 167-173.
- Dublin, P. 1980. Multiplication végétative *in vitro* de l'arabusta. *Café Cacao Thé* 24(4): 281-289.
- _____. 1981. Embryogenèse somatique directe sur fragments de feuilles de caféier Arabusta. *Café Cacao Thé* 25: 237-241.
- _____. 1984. Techniques de reproduction végétative *in vitro* et amélioration génétique chez les caféiers cultivés. *Café Cacao Thé* 28(4): 231-244.
- Ducos, J.P.; Zamarripa, A.; Eskes, A.B.; Pétiard, V. 1993. Production of somatic embryos of coffee in a bioreactor. In 15 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montpellier, Francia, 6-11 de junio, 1993. Vevey, Suiza, ASIC. p. 89-96.
- Dussert, S.; Chabrilange, N.; Engelmann, F.; Anthony, F.; Hamon, S. 1997. Cryopreservation of coffee (*Coffea arabica* L.) seeds: importance of the pre-cooling temperature. *Cryo-Letters* 18:269-276.
- _____; Chabrilange, N.; Engelmann, F.; Anthony, F.; Louarn, J.; Hamon, S. 1998. Cryopreservation of seeds of four coffee species (*Coffea arabica*, *C. costatifructa*, *C. racemosa* and *C. sessiliflora*): importance of water content and cooling rate. *Seed Science Research* 8:9-15.
- Etienne, H.; Bertrand, B.; Anthony, F.; Côte, F.; Berthouly, M. 1997a. L'embryogenèse somatique: un outil pour l'amélioration génétique du caféier. In 17 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Nairobi, Kenia, 21-25 de julio, 1997. Vevey, Suiza, ASIC. p. 457-465.
- _____; Lartaud, M.; Michaux-Ferrière, N.; Carron, M.P.; Berthouly, M.; Teisson, C. 1997b. Improvement of somatic embryogenesis in *Hevea brasiliensis* (Müll. Arg.) using the temporary immersion technique. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 33:81-87.
- _____; Solano, W.; Etienne, H.; Pereira, A.; Barry-Etienne, D.; Bertrand, B.; Anthony, F.; Côte, F.; Berthouly, M. 1997c. Utilización de la embriogénesis somática en medio líquido para la propagación masal de los híbridos F1 de *Coffea arabica*. In 18 Simposio Latinoamericano de caficultura. San José, Costa Rica, 16-18 de setiembre, 1997. PROMECAFE. p. 253-261.

- Etienne, H.; Bertrand, B.; Anthony, F.; Côte, F.; Berthouly, M.; Solano, W.; Pereira, A.; Bertrand, B.; Berthouly, M. 1997d. Protocole d'acclimatation de plantules de caféiers produites *in vitro*. Plantations, recherche, développement 4: 304-311.
- Etienne-Barry, D.; Bertrand, B.; Vasquez, N.; Etienne, H. 1999. Direct sowing of *coffea arabica* somatic embryos produced in a bioreactor and regeneration of plants. Plant Cell Reports. En prensa.
- Evans, D.A.; Sharp, W.R. 1983. Single gene mutations in tomato plants regenerated from tissue culture. Science 221: 949-951.
- Freytag, A.H.; Rao-Arelli, A.H.; Anand, S.C.; Wrather, J.A.; Owens, L.D. 1989. Somaclonal variation in soybean plants regenerated from tissue culture. Plant Cell Rep. 8: 199-202.
- Fujii, J.A.; Slade, D.; Redenbaugh, K. 1989. Maturation and greenhouse planting of alfalfa artificial seeds. In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant 25: 1179-1182.
- Herman, E.B.; Hass, G.J. 1975. Clonal propagation of *Coffea arabica* L. from callus culture. Hortscience 10(6): 588-589.
- Karp, A. 1991. On the current understanding of somaclonal variation. Oxford surveys of plant molecular and cell biology 7: 1-58.
- Kharta, K.K.; Mroginski, L.A.; Pahl, K.; Leung, N.L. 1981. Germplasm preservation of coffee (*Coffea arabica* L.) by *in vitro* culture of shoot apical meristems. Plant Science Letters 22: 301-307.
- Lanaud, C. 1981. Production de plantules de *C. canephora* par embryogenèse somatique réalisée à partir d'une culture *in vitro* d'ovules. Café Cacao Thé 25: 231-235.
- Larkin, P.J.; Scowcroft, W.R. 1981. Somaclonal variation- a novel source of variability from cell cultures for plant improvement. Theor. Appl. Genet. 60: 197-214.
- Leroy, T.; Paillard, M.; Royer, M.; Spiral, J.; Berthouly, M.; Tessereau, S.; Legavre, T.; Altosaar, I. 1997. Introduction de gènes d'intérêt agronomique dans l'espèce *Coffea canephora* Pierre par transformation avec *Agrobacterium* sp. In 17 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Nairobi, Kenia, 21-25 de julio, 1997. Vevey, Suiza, ASIC. p. 439-446.
- Mari, S.; Engelmann, F.; Chabrilange, N.; Huet, C.; Michaux-Ferrière, N. 1995. Histocytological study of apices of coffee (*Coffea racemosa* and *C. sessiliflora*) *in vitro* plantlets during their cryopreservation using the encapsulation -dehydration technique. Cryo-Letters 16: 289-298.
- Mohmand, A.S.; Nabors, M.W. 1990. Somaclonal variant plants of wheat derived from mature embryo explants of three genotypes. Plant Cell Rep. 8: 558-560.
- Neuenschwander, B.; Baumann, T.W. 1992. A novel type of somatic embryogenesis in *Coffea arabica*. Plant Cell Rep. 10: 608-612.
- Normah, M.N.; Vengadasalam, M. 1992. Effects of moisture content on cryopreservation of *Coffea* and *Vigna* seeds and embryos. Cryo-Letters 3: 199-208.
- Paillard, M.; Lasherme, P.; Pétiard, V. 1996. Construction of a molecular linkage map in coffee. Theor. Appl. Genet. 93: 41-47.

- Pétiard, V.; Bollon, H.; Ducos, J.P.; Florin, B.; Paillard, M.; Spiral, J.; Zamarripa, A. 1993. Biotechnologies appliquées au caféier. In 15 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montpellier, Francia, 6-11 de junio, 1993. Vevey, Suiza, ASIC. p. 56-65.
- Pétiard, V.; Bollon, H.; Ducos, J.P.; Florin, B.; Paillard, M.; Spiral, J.; Zamarripa, A.; Ducos, J.P.; Florin, B.; Lecouteux, C.; Tessereau, H.; Zamarripa, A. 1992. Mass somatic embryogenesis: a possible tool for large scale propagation of selected plants. In 4 International Workshop on Seeds: Basic and Applied Aspect of Seed Biology. Angers, Francia, 20-24 de julio, 1992. Paris, Francia, ASFIS. p. 175-191.
- _____; Ducos, J.P.; Florin, B.; Lecouteux, C.; Tessereau, H.; Zamarripa, A. 1993. Production en masse et conservation des embryons somatiques. *Le Sélectionneur Français* 43: 65-75.
- Pierson, E.S.; Van Lammeren, A.A.M.; Schel, J.H.N.; Staritsky, G. 1983. *In vitro* development of embryoids from punched leaf discs of *Coffea canephora*. *Protoplasma* 15: 208-216.
- Preil, W.; Beck, A. 1991. Somatic embryogenesis in biorreactor culture. *Acta Hort.* 289:179-192.
- Reinert, J. 1958. Morphogenese und ihre kontrolle an gewebeulturen aus karotten. *Naturewissenschaften* 45: 344-345.
- Sharp, W.R.; Caldas, L.S.; Crocomo, O.J.; Monaco, L.C.; Carvalho, A. 1973. Production of *Coffea arabica* callus of three ploidy levels and subsequent morphogenesis. *Phyton* 31(2): 67-74.
- Smith, A.W. 1985. Introduction. In *Coffee Chemistry*, v. 1. Ed. por R.J Clarke y R. Macrae. Londres, Reino Unido, Elsevier Applied Sciences. p. 1-41.
- Smith, S.M.; Street, H.E. 1974. The decline of embryogenic potential as callus and suspension cultures of carrot (*Daucus carota* L.) are serially subcultured. *Ann. Bot.* 38: 223-241.
- Söndhal, M.R.; Sharp, W.R. 1977. High frequency induction of somatic embryos in cultured leaf explants of *Coffea arabica* L. *Z. Pflanzenphysiol.* 81: 395-408.
- _____; Bragin, A. 1991. Somaclonal variation as a breeding tool for coffee improvement. In 14 Coloquio Científico Internacional sobre el Café, San Francisco, EE.UU., 14-19 de julio, 1991. Vevey, Suiza, ASIC. p. 701-710.
- _____; Lauritis, J.A. 1992. Coffee. In *Biotechnology of perennial fruit crops*. *Biotechnology in agriculture* 8: 401-420.
- _____; Loh, W.H.T. 1988. Coffee biotechnology. In *Coffee Agronomy*, vol. 4. Ed. por R.J. Clarke y R. Macrae. Londres, Reino Unido, Elsevier Applied Science. p. 236-262.
- _____; Noriega. 1992. Coffee somatic embryogenesis in angiosperm cell tissue and organ culture. In 1992 World Congress on Cell and Tissue Culture. Arlington, EE.UU., 20-25 de junio, 1992. *Journal of the Tissue Association Abstracts*, p. 1010.
- _____; Sharp, W. 1977. High frequency induction of somatic embryos in cultured leaf explants of *Coffea arabica* L. *Z. Pflanzenphysiol.* 81: 395-408.

- Spiral, J.; Pétiard, V. 1991. Protoplast culture and regeneration in *Coffea* species. In 14 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. San Francisco, EE.UU., 14-19 de julio, 1991. Vevey, Suiza, ASIC. p. 383-391.
- Spiral, J.; Pétiard, V. 1993. Développement d'une méthode de transformation appliquée à différentes espèces de caféiers et régénération de plantules transgéniques. In 15 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Montpellier, Francia, 6-11 de junio, 1993. Vevey, Suiza, ASIC. p. 115-122.
- _____; Thierry, C.; Paillard, M.; Pétiard, V. 1993. Obtention de plantules de *Coffea canephora* (Robusta) transformées par *Agrobacterium rhizogenes*. C. R. Acad. Sci. Paris 316(3): 1-6.
- Standaert-de Metsenaere, R.E.A. 1991. Economic considerations. In Micropropagation technology and application. Ed. por P.C. Debergh y R.H. Zimmerman. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. p.119-128.
- Staritsky, G. 1970. Embryoid formation in callus tissues of coffee. Acta Bot. Neerl. 19(4): 509-514.
- _____; Van Hasselt, G.A.M. 1980. The synchronised mass propagation of *Coffea canephora* *in vitro*. In 9 Coloquio Científico Internacional sobre el Café. Londres, Reino Unido, 16-20 de junio, 1980. Vevey, Suiza, ASIC. p. 597-602.
- Steward, F.C.; Mapes, M.O.; Mears, K. 1958. Growth and organized development of cultured cells. II. Organization in cultures growth from freely suspended cells. Am. J. Bot. 45: 704-708.
- Stuart, D.A.; Strickland, S.G.; Walker, K.A. 1987. Bioreactor of alfalfa somatic embryos. HortScience 22(5): 800-803.
- Tautorius, T.E.; Lulsdorf, M.M.; Kikcio, S.I.; Dunstan, D.I. 1992. Bioreactor culture of *Picea mariana* Mill. (Black spruce) and the species complex *Picea glauca-engelmannii* (interior spruce) somatic embryos. Growth parameters. Appl. Microbiol. Biotechnol. 38:46-51.
- Teisson, C.; Alvard, D. 1995. A new concept of plant *in vitro* cultivation liquid medium : temporary immersion. In Current issues in plant molecular and cellular biology. Ed. por M. Terri, R. Cella y A. Falavigna. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. p. 105-110.
- Tesserau, H.; Florin, B.; Meschine, M.C.; Thierry, C.; Pétiard, V. 1994. Cryopreservation of somatic embryos: a tool for germplasm storage and commercial delivery of selected plants. Annals of Botany 74: 547-555.
- Thorpe, T.A. 1988. *In vitro* somatic embryogenesis. In ISIS Atlas of Science: Animal and Plant Sciences. p. 81-88.
- Tisserat, B.; Esan, E.B.; Murashige, T. 1979. Somatic embryogenesis in Angiosperms. In Horticultural Reviews, vol. 1. Ed. por J. Janick. Westport, A.V.I. Publishing, p. 1-78.
- Van Boxtel, J.; Berthouly, M. 1996. High frequency somatic embryogenesis from coffee leaves. Plant Cell, Tiss. Org. Cult. 44: 7-17.

- Van der Vossen, H.A.M. 1985. Coffee selection and breeding. In Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. Ed. por M.N. Clifford y Wilson. Londres, Reino Unido, Croom Helm. p. 48-96.
- Van der Vossen, H.A.M.; Walyaro, D.J. 1981. The coffee breeding programme in Kenya: a review of progress made since 1971 and plan of action for the coming years. Kenya Coffee 46(541): 113-130.
- Villalobos, V.M. 1984. Cytokinin-induced switch in development in excised cotyledone al radiata pine culture *in vitro*. Physiol. Plant. 61: 483-489.
- Yasuda, T.; Fujii, Y.; Yamaguchi, T. 1985. Embryogenic callus induction from *Coffea arabica* leaf explants by benzyladenine. Plant Cell. Physiol. 26(3): 595-597.
- Zamarripa, A. 1989. Production d'embryons somatiques de caféiers (*coffea arabica*) en milieu liquide. Mémoire de D.E.A. Escuela Nacional Superior de Agronomía. Rennes, Francia. Universidad de Rennes I. 47 p.
- _____; Ducos, J.P.; Bollon, H.; Dufour, M.; Pétiard, V. 1991. Production d'embryons somatiques de caféier en milieu liquide: effets densité d'inoculation et renouvellement du milieu. Café Cacao Thé 34(4): 233-243.

Glosario

Aclimatación	Transferencia de las vitroplantas fuera de las condiciones <i>in vitro</i> . Este paso al invernadero se hace generalmente en condiciones controladas.
Alelo	Una de las posibles formas diferentes de un mismo gen. Hay un único alelo por gene en una célula haploide, y dos alelos (idénticos o diferentes) en una célula diploide*.
Alogamia	Modo de reproducción en el cual el individuo se forma a partir de gametos de dos padres distintos.
Androgénesis	Formación de un embrión haploide (en cultivo <i>in vitro</i>) a partir de granos de polen. Después de una duplicación del stock cromosómico (espontáneo o provocado), el embrión puede ser diploide* y homocigótico para todos sus genes.
Ápice	Extremidad de un órgano: raíz, tallo, hoja.
Autogamia	Modo de reproducción en el cual el individuo se forma a partir de gametos del mismo padre. Se opone a alogamia.

Auxinas	Familia de hormonas vegetales implicada en numerosos fenómenos biológicos tales como el enraizamiento, el alargamiento celular... Es utilizada entre otros para obtener el fenómeno de embriogénesis somática
Biorreactor	Sistema de cultivo en medio líquido que permite el control de diferentes parámetros físico químicos y utilizado para la producción de grandes cantidades de células vegetales o de embriones somáticos. Su volumen va generalmente de 3 a 20 litros.
Callo	En cultivo <i>in vitro</i> , el callo es el tejido de neoformación producido por la pieza vegetal utilizada inicialmente o después de trasplantes sucesivos.
Callogénesis	Nueva formación de un callo.
Célula somática	Célula diploide* común que constituye los tejidos vegetales.
Clon	Conjunto de individuos genéticamente idénticos provenientes de la multiplicación vegetativa* de una planta madre o de varios individuos de un clon* anteriormente constituido.
Crioconservación	Conservación a largo plazo de células o de órganos vegetales en el nitrógeno líquido a -196°C .
Cromosoma	Estructura nuclear portadora de la información genética.
Diploidía	Presencia de dos juegos de cromosomas* en un mismo núcleo, cada cromosoma está entonces presente en dos ejemplares. Simbolizado por $2n$, donde n es el número haploide de base.
Embriogénesis	Conjunto de etapas que conducen a la formación de un embrión. La experimentación en cultivo <i>in vitro</i> condujo a la extensión del concepto de embriogénesis.
Embriogénesis somática	Provocada experimentalmente en cultivo <i>in vitro</i> , se realiza a partir de las células somáticas* (diploides*) banales.
Embriogénesis cigótica	O normal, tiene como punto de partida el cigoto (de $2n$ cromosomas*) resultante de la fusión de los gametos masculino y femenino (de n cromosomas cada uno) o fecundación*.

Epigenética	Modificaciones (anormalidades) que pueden ocurrir durante el proceso de cultivo <i>in vitro</i> . Se pueden transmitir por vía sexual.
Fecundación	Fusión de una célula haploide sexual masculina con una célula femenina, que da una célula huevo diploide* llamada cigoto.
Gen	Unidad de herencia. Entidad hipotética que interviene en la realización de un carácter especial particular.
Genoma	Conjunto de genes de una célula, o por extensión, de un individuo.
Genotipo (Adj. Genotípico)	Conjunto de la información genética (genes) de un organismo.
Haploide	Célula o, por extensión, individuo que contiene un único juego de cromosomas*, por ende un único alelo* de cada gene (no hay fenómeno de dominancia).
Haploidización	Técnicas destinadas a la obtención de plantas haploides.
Homocigoto	Célula o, por extensión, individuo diploide* que posee dos alelos* idénticos para el o los genes considerados.
<i>In vitro</i>	En general, se aplica al cultivo estéril de organismos, órganos, tejidos, células, en recipientes en el laboratorio, así como a las preparaciones de extractos celulares.
Ingeniería genética	Conjunto de técnicas que permite modificar el patrimonio hereditario de una célula por la manipulación de genes (<i>in vitro</i>).
Meristema	Masa de células en proliferación que instaura tejidos u órganos.
Microestacas	Técnica de cultivo <i>in vitro</i> que se basa en el principio de las estacas hortícolas. Consiste en estimular la formación de tallos.
Micropropagación	Conjunto de técnicas de multiplicación vegetativa* realizadas <i>in vitro</i> .
Multiplicación vegetativa	Sinónimo de reproducción asexual. Conduce a la constitución de clones homogéneos.

Ortótropo	Caracteriza el crecimiento vertical de un tallo, de un nudo o de un brote.
Óvulo	Célula sexual o gameto femenino.
Propagación de masa o masal	Multiplicación de plantas a gran escala.
Protoplasto	Célula aislada y separada de su pared pectoelulósica.
Regeneración	Caracteriza la obtención de plantas a partir de células o tejidos vegetales.
Suspensión celular	Conjunto de células o de conglomerados de células multiplicados en medio líquido agitado.
Totipotencia celular	Aptitud de las células para expresar la totalidad de las potencialidades del genoma. Esta aptitud se revela en los casos de embriogénesis somática*.
Transformación genética	Modificación del patrimonio genético de una célula por introducción de una información genética ajena.
Transgénica	Califica a un ser vivo proveniente de una célula en la cual ha sido introducida una información genética ajena (ADN).
Variación genética	Término muy general que designa cualquier modificación genética de naturaleza conocida o no, diferente a una mutación.
Variante somaclonal (variación somaclonal)	Individuo que presenta características fenotípicas o genotípicas, hereditarias o no, diferentes de los otros individuos del clon* al cual pertenece. El término variación es voluntariamente muy general y no prejuzga la naturaleza de la variación, en oposición con mutación que designa una modificación estructural que afecta un gen.
Vitroplanta	Planta producida por el cultivo <i>in vitro</i> .


Esta edición se terminó de imprimir
en la Imprenta del IICA
en Coronado, San José, Costa Rica,
en el mes de mayo de 1999,
con un tiraje de 1300 ejemplares.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

El IICA, el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano, provee servicios de cooperación orientados a que sus Estados Miembros logren, en el contexto de la integración de las Américas, el desarrollo sostenible de la agricultura y el medio rural. Uno de los principios en que se fundamenta la provisión de dichos servicios es la cooperación participativa, mediante la cual se responde a las demandas de organizaciones públicas y privadas de los países, así como de organismos, foros y programas regionales y hemisféricos.

Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura en Centroamérica, República Dominicana y Jamaica (PROMECAFE)

Este programa, con el apoyo del CATIE, el CIFC, el CIRAD, el IICA, el IRD, el OIRSA y el Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia, fomenta la realización conjunta de investigaciones en caficultura y el intercambio activo de experiencias, conocimientos, tecnologías y material bibliográfico y genético entre los institutos nacionales especializados en café, tales como la ANACAFE de Guatemala, la CIB de Jamaica, el ICAFE de Costa Rica, el IHCAFE de Honduras, el PROCAFE de El Salvador, la SEA de República Dominicana y el UNICAFE de Nicaragua.



Este libro presenta los grandes problemas ecológicos, agronómicos y biológicos que acechan a la caficultura centroamericana, o que probablemente la afectarán en un futuro cercano. Varios especialistas en el cultivo participaron en la redacción de sus trece capítulos, que son, en cierta medida, independientes.

El libro se inicia con una reseña histórica que permite entender la diversidad de situaciones de producción, así como interpretar los debates actuales en el contexto más amplio de una historia bi-secular. Luego se estudian los principales avances y limitaciones de los sistemas de cultivo, con una atención particular en el manejo del suelo, con el afán de proponer soluciones o de identificar campos prioritarios de investigación. También se repasan los grandes desafíos del beneficiado del café, que son principalmente ecológicos. Un gran espacio se dedica al estudio de las principales enfermedades y plagas del café, cuyo desarrollo y agravamiento repercuten en costos de control muy elevados. La lucha biológica o integrada puede (o podrá) ofrecer soluciones alentadoras. Se presentan las posibilidades de crear nuevas variedades de café a partir de los recursos genéticos introducidos de África, con las esperanzas que despiertan las nuevas biotecnologías.

Este libro ha sido escrito para los investigadores, estudiantes y caficultores de América Central, aunque es de utilidad para aquellos de otras regiones. Para cada tema tratado, se intentó recordar los conceptos esenciales para la comprensión del texto. Los capítulos más especializados están acompañados de un glosario. Antes que presentar nuevos resultados, los autores se esforzaron en restituir el estado de los conocimientos y de las dudas actuales, ayudados en esto por su experiencia laboral en el tema tratado y por una extensa revisión bibliográfica.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA
Sede Central / Apdo. 55-2200 Coronado, Costa Rica
Tel.: (506) 216-0222 / Fax: (506) 216-0233
Dirección electrónica : iicahq@iica.ac.cr / Página web: www.iica.ac.cr

**CENTRO DE COOPERACION INTERNACIONAL EN INVESTIGACION AGRICOLA
PARA EL DESARROLLO (CIRAD-Francia)**
Librairie CIRAD BP 5035 / 34032 Montpellier Cedex 01 France
Tel.: 33 (0) 4 67 61 59 00 / Fax: 33 (0) 4 67 61 55 13