

I I C A

680

RAZAS DEL PATOGENO Y RESISTENCIA A LA ROYA DEL CAFE

C. J. RODRIGUES Jr.
A. J. BETTENCOURT
L. RIJO

579.592 R6966r 1975



IICA zona norte

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, 1976

Digitized by Google

BIBLIOTECA



11CA
p. 11-134

Publicación del Programa Cooperativo Contra la Roya y otras Enfermedades y Plagas de Importancia Económica del Café, del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Traducción del inglés y edición por C. E. Fernández, responsable del Programa Cooperativo. Con autorización de los autores.

RAZAS DEL PATOGENO Y RESISTENCIA A LA ROYA DEL CAFE

INTRODUCCION

El café es, después del petróleo, el producto más importante en el comercio mundial (19). De allí que el café constituya una de las ocupaciones agrícolas más importantes, sobre la que se basa la economía de más de 50 países.

De las 16 especies de *Hemileia* que se describen en la literatura (72) y que atacan a las Rubiaceas, sólo *Hemileia vastatrix* B. & Br. y *H. coffeicola* Maubl. & Rog. son capaces de infectar al género *Coffea*. Es por esta razón que esas dos especies y particularmente la primera por su importancia económica, han sido motivo de investigaciones detalladas (53, 63). Todas las especies de *Hemileia* que se conocen hasta ahora son hemiformes, no conociéndose las fases de picnidio o ecidio (68).

Durante el último cuarto del siglo pasado, la *H. vastatrix* (roya del café, roya anaranjada), causó enormes pérdidas en las plantaciones de café arábica de Ceylan y más tarde causó serios daños en el crecimiento de estas especies en lugares bajos de otros países asiáticos y africanos. La roya es folícola y estrictamente hipófila, formando pústulas anaranjadas o anaranjado rojizas que varían en tamaño desde unos pocos milímetros hasta más de un centímetro en diámetro, de acuerdo con la edad de las pústulas y la intensidad del ataque. Ocasionalmente se ha informado de ataques en el fruto o en los brotes tiernos (20, 68), pero los autores nunca han observado esos casos. Una de las descripciones más dramáticas de los daños causados por la roya en Ceylán y otros países ha sido dada por Wellman (76). En 1970 la roya apareció en Brasil, causando una justificada alarma en el Continente Americano, en donde se produce el 65 % del café del mundo. Recientemente la roya ha sido detectada en Paraguay y en Argentina. En la actualidad, y con la excepción de los otros países cafetaleros aun no afectados del continente americano, la roya es endémica en todas las demás regiones del mundo en las que se cultiva el café.

El control químico de la roya fué probado inicialmente por Marshall Ward (42) en Ceylán usando azufre y cal y más tarde ha sido desarrollado y utilizado en India (51), Kenya (7, 33, 54, 73) y más recientemente en Brasil (38), usando preferentemente fungicidas a base de cobre. El éxito de este método se ve sin embargo limitado por varias circunstancias de orden práctico y en muchos casos no resulta económico (64). De aquí que la resistencia del café a la roya anaranjada haya sido motivo de bastante investigación.

Esta revisión pretende dar una vista panorámica de los esfuerzos hechos para buscar la resistencia del café a la roya anaranjada, con énfasis muy particular en el trabajo llevado a cabo en el Centro de Investigaciones de la Roya del Café (Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro-CIFC). Tomamos esta oportunidad para expresar nuestro aprecio por el trabajo pionero y de gran valor de Marshall Ward en Ceylán sobre la biología de *H. vastatrix*, y más tarde el de otros científicos que se dedicaron por entero al estudio de esta enfermedad del café en las estaciones experimentales de Java, India, Kenya, Tanzania, la República Democrática del Congo y la Costa de Marfil.

BUSQUEDA DE LA RESISTENCIA A LA ROYA EN *COFFEA* SPP. GRUPOS FISIOLÓGICOS DE CAFE

El género *Coffea* ha sido estudiado por varios taxónomos en el pasado, pero la revisión más reciente y quizás la más valedera, es la de Chevalier (18), quien dividió las verdaderas especies de café, en los siguientes cuatro grupos: *Eucoffea* K. Schum, *Mascaracoffea* Chev., *Argocoffea* Pierre y *Paracoffea* Miq. Los primeros tres grupos incluyen cafés exclusivamente nativos de Africa. La mayoría de los componentes del cuarto grupo (*Paracoffea*) son nativos de India, Indochina, Ceylán y Malaya.

La sección *Eucoffea*, que es la más económicamente importante del género, se subdivide a su vez en los siguientes subgrupos: *Erythrocoffea*, incluyendo las especies *C. arabica* L., *C. canephora* Pierre, *C. congensis* Froehner, y *C. eugenioides* Moore; *Pachycoffea* incluye *C. liberica* Hiem, *C. dewevrei* de Wild.

et Dur. y sus variedades, *C. Klainii* Pierre, *C. abeokutae* Cramer y *C. oyemensis* Chev.; Nanocoffea con la especie *C. humilis* Chev. y otras; Melanocoffea que incluye las especies *C. carrisoi* Chev., *C. stenophyla* G. Don, etc.; y Mozambicoffea que incluye *C. ligustroides* Moore, *C. racemosa* Lour., *C. salvatrix* Swyn. et Phil., etc.

Coffea arabica es la especie que más se cultiva en el mundo y ocupa 65 % del área total cultivada con café; produce café de la mejor calidad que viene principalmente de América. Aparentemente es la única especie con un número de cromosomas de $2n = 44$ y es autofértil, mientras que todas las demás son $2n = 22$ y son autoestériles. Le sigue en importancia *C. canephora* Pierre, también conocida como Robusta, Uganda o Quillou y que ocupa 33 % del área sembrada, produciendo café de calidad inferior que viene en su mayoría de Africa. Finalmente *C. liberica* y *C. dewevrei*, que algunos consideran que producen café de aún mas baja calidad, toman el tercer lugar con 2% del área cultivada(19); estas se cultivan casi exclusivamente en Liberia, St. Thome, las Islas de Fernando Poo y la Guinea Francesa. *C. racemosa*, también conocido como café de Inhambane por ser originaria de allí (Mozambique), se consume localmente.

Todas las demás especies no tienen importancia económica, aunque en algunos casos se usen localmente como sustitutos de café. Debe hacerse mención especial, sin embargo de algunas especies de café que casi no tienen cafeína, como las de la sección Mascaracoffea, nativa de Madagascar y las Islas Mascareñas. Estas especies han sido estudiadas últimamente desde distintos ángulos (26, 43).

Coffea arabica

De acuerdo con la información histórica, el centro primario de dispersión del *C. arabica* cultivado fué Yemen (Arabia Felix) a donde fué introducida probablemente desde Etiopía cerca del año 575 D. C. (77). Semillas de esta especie fueron llevadas a Java por los holandeses en 1690. El jardín botánico de Amsterdam re-

cibió una sola planta (*C. arabica* L. var. *Typica* Cramer), desde esa isla en 1706 y de esta planta se tomó semilla para el jardín botánico de París en 1713. Se cree que esta sola progenie dió origen a todo el café de las plantaciones establecidas en las Antillas, Centro y Sur América (41). Semilla sin seleccionar de la misma variedad fué introducida en India, Ceylán y otras regiones asiáticas y africanas.

Debido a la ausencia de *H. vastatrix* en el Yemen (66), los arábicas cultivados allí pudieron ser seleccionados por calidad, productividad y resistencia a la sequía, pero nunca estuvieron sujetos a la selección natural por resistencia a la roya. Por esta causa, el originarse de una sola progenie, y la predominancia de la autofertilidad de *C. arabica*, no es sorprendente que la mayoría de las plantas cultivadas de esta especie sean genéticamente semejantes y susceptibles a la roya. Una investigación de la población primitiva de café de Brasil y de otros países de América Latina, reveló que la especie arábica tiene una variación de genes muy restringida (12). Esta es posiblemente la razón por la que los primeros intentos de buscar resistencia a *H. vastatrix* en *C. arabica* cultivada fueron un fracaso.

La primera planta de *C. arabica* que mostró resistencia a *H. vastatrix* se encontró en 1911, en la finca del Sr. Kent, en Doddegooda, Mysore, India, entre otras totalmente susceptibles. Semilla autopolinizada de esta planta dió origen a la muy conocida variedad Kent, que se introdujo para hacer plantaciones en gran escala en 1918-1920, para sustituir el cultivar Coorg fuertemente atacado por la roya. El café Kent fué importado por varios países y a pesar de volverse más tarde susceptible a la roya, jugó un papel muy importante en el mejoramiento de *C. arabica*.

Debido a que las montañas del suroccidente de Etiopía y el altiplano Boma del Sudán constituían el más probable centro de origen de *C. arabica* (48, 67), era muy posible que precisamente allí se encontrara cierto grado de variabilidad genética entre los tipos más primitivos de la especie. En 1928 Cramer (20) visitó algunas plantaciones de café en Etiopía y notando la apariencia sa-

na y vigorosa de los árboles, seleccionó plantas madres, habiendo enviado semillas a Java. Este café abisinio dió buen resultado en las plantaciones bajas y aparentemente mostró más resistencia a la roya. Sin embargo, y quién sabe por qué razón, los holandeses nunca más volvieron a producir café arábica como lo habían hecho hasta antes de la aparición de la roya, y en 1969 (41) sólo el 10 % de la producción de Indonesia era de esta especie cultivada en las regiones más altas.

Nuevas introducciones desde Etiopía fueron hechas a Kenya en varias oportunidades (39), a través de los consulados británicos en ese país, una expedición hecha por A. S. Thomas al altiplano de Boma y a través de los oficiales en servicio en las Fuerzas de Africa Oriental durante la segunda guerra mundial. Se hicieron colecciones en Harar, Geisha, Amfillo, Dalle, Dalle Mixed, Dilla, Dilla y Alghe, Gimma Mbuni y Gimma Galla Sidamo, las que recibieron los nombres de los lugares en las que fueron recogidas. Estas nuevas variedades fueron establecidas y se hicieron algunas observaciones de campo, pero se desconocían sus verdaderas cualidades y habilidades en especial lo referente a su resistencia a la roya.

Es decir que hasta en 1950 había un desconocimiento casi total sobre la existencia de verdaderos cafés arábicas con resistencia a la roya. Este hecho y el peligro de la eventual introducción de la roya a América Latina con sus consecuencias sobre la economía y estabilidad social de los caficultores, hizo que el Dr. F. Wellman, en ese entonces trabajando con el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba, Costa Rica, alertara a las autoridades responsables sobre esa amenaza potencial (74, 75). Una misión del Punto IV compuesta por los doctores Wellman y W. Cowgill, visitó el Hemisferio Oriental para (a) estudiar el comportamiento de la enfermedad en el campo; (b) recoger material con resistencia potencial o de valor en un programa de mejoramiento con fines de resistencia; y, (c) establecer contactos con los científicos del café del Hemisferio Oriental para formar vínculos de trabajo mutuamente beneficiosos a fin de resolver el problema. La misión obtuvo mucha informa-

ción y trajo más de 100 tipos de café, nuevos para las Américas. Estas plantas fueron propagadas bajo condiciones de cuarentena en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y distribuidos entre las principales estaciones experimentales.

Durante su viaje Wellman y Cowgill visitaron el Departamento de Fitopatología de la Estación Agronómica Nacional, cerca de Lisboa, Portugal. El Jefe del Departamento, el Dr. Branquinho d'Oliveira, llevaba a cabo investigación sobre selección de plantas por resistencia a la roya y sobre diferenciación de razas de roya. La localización, en un lugar en el que no se cultivaba café en el campo, resultaba ideal para llevar a cabo este tipo de trabajo en forma internacional, ya que podían recibirse muestras de roya del extranjero sin peligro de introducir nuevas razas del patógeno. Durante el curso de la misión del Punto IV, se enviaron muestras de roya y semillas de variedades de café a Lisboa y también se recolectaron otros materiales gracias a los esfuerzos del propio Dr. d'Oliveira.

En abril de 1955, los Estados Unidos y el Gobierno de Portugal acordaron llevar adelante un proyecto (Foreign Operations Administration (FOA) No. 72-11-004) y erogaron los fondos necesarios para construir en Oeiras el Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (Agreement FO-PO-5) con el propósito de estudiar bajo una cooperación internacional el problema de la roya del café.

La primera de las valiosas conclusiones del trabajo del Dr. d'Oliveira fué la de mostrar que todos los arábicas cultivados en América Latina (Typica, Caturra, Mundo Novo, Bourbon, San Bernardo, etc.), eran altamente susceptibles a *H. vastatrix*, confirmando de esta manera los temores del Dr. Wellman acerca del futuro de la caficultura del Nuevo Mundo, si eventualmente se introducía la roya. Estos resultados confirmaron, en adición, la homogeneidad genética de las variedades de *C. arabica*, al menos en lo tocante a la resistencia a la roya, y a la urgente necesidad de buscar nuevas fuentes de resistencia entre los puros arábicas y otras especies de café. De acuerdo con el sistema adoptado por d'Oliveira y sus colaboradores (22-25), de agrupar las plantas de

café en grupos fisiológicos (nombrados arbitrariamente con las letras de los alfabetos romano y griego), correspondiendo a su espectro de reacción a las razas probadas, los cafés cultivados en América fueron incluidos en el grupo E (Cuadro No. 1). Este grupo es susceptible a 21 razas de roya, incluyendo la raza II que es la más frecuentemente diferenciada. Cultivares de café de este grupo fueron los que estaban bajo cultivo en Ceylán, Java, India, Filipinas, etc., cuando la epidemia de roya barrió con el café de regiones bajas, hace cerca de cien años.

En el subsecuente trabajo llevado a cabo en el CIFC se han recibido semillas de *C. arabica* de muy distintos orígenes. Hasta el momento ni un solo cultivar o selección de esta especie ha mostrado resistencia o susceptibilidad total a las razas conocidas de *H. vastatrix*. Además del grupo E ya mencionado, las introducciones de *C. arabica* probadas han sido incluidas en los grupos β , D, α , C, γ , J, L, I, y W, los que varían desde susceptibilidad a 28 razas (grupo β) hasta susceptibilidad a solo 3 razas (grupo W) (4, 17, 25, 59, 61).

Dentro del grupo D, con susceptibilidad a 11 razas, se incluyen la selección Kent de la India y sus derivados seleccionados en Tanzania, como las series "KP" "F" "H" y "X" y las de Kenya, selecciones K. 7 y S. L. 6. Sólo una introducción de Etiopía (S. 16 Wollamo) colectada por Pierre Sylvain en Soddu, Distrito de Wollamo, ha sido incluida en este grupo.

Todos los demás grupos con excepción del L, han sido definidos de acuerdo a los tipos de café colectados en Etiopía, ya sea mandados directamente al CIFC por Sylvain, Bechetel, Lejeune, Siegenthaler, y en 1964 por la Misión de Café a Etiopía, o bien recibidos por medio del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El grupo β (Matari) es, dentro de la especie, el grupo susceptible universal, ya que sólo es resistente a dos razas que no infectan al *C. arabica*. Por otro lado los grupos (Dilla & Alge) y γ (S. 12 Kaffa) ofrecen resistencia a 21 y 19 razas respectivamente. Estos grupos, sumados al grupo E, que es el más frecuente entre las muestras etíopes, forman el gemoplasma básico para el grupo C ($\alpha \times E$) con los tipos de café Geisha, S. 17

Yrgalem, U. 1 Dalecho y Sudan Barbuk; el grupo J ($\gamma \times E$) contiene los tipos S. 4 Agaro y S. 6 Cioiccie; el grupo I ($\alpha \times \gamma$) con el tipo S. 12 Kaffa; y finalmente el grupo W ($C \times \gamma$) representado también por el tipo S. 12 Kaffa. El hecho de que tres grupos fisiológicos diferentes (γ , I, W) hayan sido caracterizados en un mismo tipo de café evidencia la forma randomizada en la que la semilla fue colectada (65, 67).

En el grupo L se asocian las resistencias de los grupos C y D. Nunca ha sido encontrado en material colectado en Etiopía, probablemente debido a la muy rara presencia del grupo D en esa región.

Cafés diploides

Después de la aparición catastrófica de la roya anaranjada en las plantaciones de *C. arabica*, los caficultores principiaron a introducir otras especies de café, como el *C. liberica*, *C. canephora* y otras que mostraban alta tolerancia a la enfermedad, aunque con bebida de inferior calidad.

C. liberica fue una de las primeras especies introducidas. Se cultivó en el África Ecuatorial Francesa en áreas en las que el café arábica había sido abandonado, y de aquí fue llevada a muchos países como Mauritius, Reunión, Madagascar, India y Java (77). Además de su aparente resistencia a la roya, esta especie tiene otras cualidades muy atractivas como son su tolerancia a la sequía, habilidad para crecer bien en suelos pobres y buen vigor. Sin embargo, la popularidad de esta especie decreció después de algunos años, debido posiblemente a la dificultad que presenta su beneficiado, su bajo precio en comparación con los arábicas y el aumento en su susceptibilidad a la roya (20).

Otra especie que se introdujo, por su tolerancia a la roya fue *C. canephora*, que presenta más vigor y productividad que *C. arabica*, razón por la que se ha dado en llamarla "Robusta".

Aparte de la especie *C. arabica*, el CIFC ha trabajado con *C. canephora* en sus labores de selección por resistencia a la roya,

debido principalmente a su importancia económica (6). Los resultados han mostrado que, exceptuando aquellos países en los que nunca ha habido alguna selección natural o experimental, sí es posible encontrar con frecuencia plantas totalmente resistentes (grupo A) a todas las razas, lo cual es contrario a lo que sucede con *C. arabica*. Simultáneamente, con estos tipos totalmente resistentes se encuentran otros totalmente susceptibles (grupo F) y en menor grado tipos con resistencia sólo a ciertas razas (grupos Q, P, K y B). Esta segregación está de acuerdo con la naturaleza alógama de estos cafés.

Esta misma resistencia total o susceptibilidad total ha sido encontrada también en las especies *C. liberica*, *C. dewevrei* y sus variedades *excelsa* Chev., *neo-Amoldiana* Chev., *aruwimensis* de Wild, y *dybowskii* Pierre, *C. abeokutae*, *C. klainii*, *C. eugenoides*; *C. ligustroides* y *C. salvatrix* (6). Es decir que la selección de plantas resistentes entre las especies diploides es menos crítica que en *C. arabica*.

Todas las plantas de *C. bengalensis* Roxb. ex Heyne y *C. lebruniana* Germ. et Kesl., una planta de *C. humilis* y la mayoría de las plantas de *C. racemosa*, que han sido probadas han mostrado susceptibilidad a todas las razas de *H. vastatrix*. Las especies *C. travancorensis* Wight. y *C. wihgtiana* Wall no han sido inoculadas en el CIFC, pero hay informes que indican que son susceptibles a las razas más comunes (51).

Híbridos interespecíficos

La introducción de nuevas especies de café a las zonas devastadas por la *H. vastatrix* condujo, en ciertos casos, a la aparición de híbridos interespecíficos naturales y en otros a su producción artificial. Estos híbridos se formaron a pesar de las barreras naturales de orden citológico que existen entre la *C. arabica* tetraploide y las otras especies diploides. Debido a esto la mayoría de los híbridos de *C. arabica* x *Coffea* spp. resultaron prácticamente inútiles debido a su condición triploide, exceptuando desde luego aquellos casos en los que *Coffea* spp. había sido artificialmente duplicada o bien cuando la naturaleza se encargó

de hacer el trabajo. Cuando los híbridos interespecíficos resultan productivos, su propagación por semilla da origen a una población muy heterogénea y con frecuencia inútil y los pocos ejemplares valiosos deben propagarse vegetativamente (injerto). Estos híbridos producen en general muchos granos vanos y anormales. A pesar de ello en la literatura se citan algunos híbridos que en una u otra forma son de utilidad en el cultivo del café.

Híbridos de *C. arabica* x *C. liberica*. Según Cramer (20) el híbrido interespecífico más antiguo conocido en Java fué el Kalimas, encontrado en 1886 en la plantación de Kalimas y que fué el resultado de un cruce entre arábica y libérica. Diez años después apareció un grupo de híbridos análogos (Kawisari). De cuatro de esos híbridos, se seleccionaron Kawisari B y D como los más valiosos y fueron usados para injertar en el campo árboles de libérica improductivos. Resultaron ser bastante resistentes a la roya y crecieron en áreas en las que los arábicas puros fallaron

La introducción del híbrido Kawisari que tenemos en nuestra colección ha producido en su descendencia plantas de los grupos M (con resistencia a 29 razas) y E.

Cuando se estableció el Instituto de Investigaciones del Café (Central Coffee Research Institute) en Balehonnur, Mysore, India, en 1925-1926, se aprovecharon algunos de los híbridos de *C. liberica* y *C. arabica* producidos por algunos cafetaleros entusiasmados por el vigor y la aparente tolerancia del libérica a la roya. Algunas plantas sobresalientes fueron marcadas y estudiadas. Se seleccionaron algunas plantas madres como las S. 26, S. 31, S. 71 y S. 73 y las progenies resultantes de su autopolinización fueron retrocruzadas con Kent o Coorg, dando origen a algunas selecciones interespecíficas tetraploides como S. 288, S. 333, S. 353, y S. 795. Según Narasimhaswamy (50), la S. 795 es de crecimiento vigoroso, altamente resistente a las razas más comunes de roya que afectan a los tipos Coorg y Kent, es de alta productividad bajo muchas condiciones y la bebida es de buena calidad.

Las selecciones de ese origen que han sido probadas en el CIFIC (17, 61), como por ejemplo la S. 288-23, S. 253 4/5, S. 795

y las de la serie B. A., han resultado ser plantas del grupo G (con resistencia a 25 razas), del grupo H (con resistencia a 26 razas) y del grupo E.

En 1935 se encontró en Brasil un híbrido natural de *C. arabica* y *C. dewevrei* que fué designado como C. 387. Plantas seleccionadas de su progenie, con buenos rendimientos, fueron retrocruzadas varias veces con Bourbon rojo y Mundo Novo en el Instituto Agronómico de Campinas (49). Progenies de este C. 387 han sido probadas en el CIFC exhibiendo espectros de reacción de los grupos A, M y E.

Híbridos de *C. arabica* y *C. canephora*. Probablemente los representantes más antiguos de este tipo son, como los de arábica x libérica, los producidos natural o artificialmente en Java. Cramer (20) hace referencia al Híbrido Bogor Prada, introducido en Bagelan en 1914. El objetivo al producir estos híbridos fué el de contar con tipos áptos para la faja baja de arábica. En la literatura se encuentran referencias a otros híbridos de este tipo, como los "híbridos Devamachy" obtenidos en India bajo condiciones naturales o con polinización controlada y que han sido objeto de mucha investigación. Se encuentran otros casos de híbridos artificiales de *C. arabica* x *C. canephora* (duplicado) en Brasil (13) y en la Costa de Marfil (10, 11), conocidos como Icatú y Arabusta respectivamente. Sin embargo, el más conspicuo de todos estos híbridos es el Híbrido de Timor, un arabicoide tetraploide, resultado de un cruce natural encontrado en el Timor Portugués (2, 35, 71).

En el CIFC se han estudiado el Híbrido de Timor y el Icatú. El Híbrido de Timor apareció espontáneamente en Timor y principió a ser cultivado en ese territorio, en una finca privada durante la segunda mitad de la década 1940-1949, para reemplazar el arábica local que había sido seriamente afectado por la roya. Desde 1956 (35) su cultivo se extendió prácticamente a toda la isla. Su población es heterogénea con plantas de productividad prometedora, regular calidad de bebida, con contenidos de cafeína un poco más bajos que los arábicas y los robustas, ofreciendo buenas

bases para la selección. Este híbrido tiene fenotipo de arábica, es autofértil y tiene un número de cromosomas de $2n = 44$ (57).

Semillas del Híbrido de Timor se han recibido varias veces en el CIFC. Las primeras dos plantas crecieron de semilla recibida en 1955, la CIFC 832/1 y la CIFC 832/2, han sido intensamente inoculadas desde entonces con cientos de aislamientos de *H. vastatrix* de muy diferentes orígenes y han mostrado resistencia a todos ellos. Pruebas hechas en varios miles de plantas de semillas recibidas posteriormente indican que existe una pequeña segregación caracterizada por individuos del grupo A, grupo R (resistente a 22 razas) y del grupo E, predominando el grupo A en un 95 %.

Es interesante notar que el híbrido entre Caturra rojo CIFC 19/1 y el Híbrido de Timor CIFC 832/1 retrocruzado con Mundo Novo, ha producido algunas plantas que fueron inicialmente incluidas en el grupo A, y que ahora han dado origen a los nuevos grupos 1, 2 y 3.

Algunas plantas del Híbrido de Timor aparentemente poseen en adición alguna resistencia a la enfermedad de la fruta (CBD), causada por una línea del *Colletotrichum coffeanum* Noak, según observaciones hechas en Tanzania (9, 30, 31, 70) y las pruebas de laboratorio llevadas a cabo en el CIFC y en Angola.

Semilla del Híbrido de Timor ha sido enviada a 27 países. Pruebas de campo han sido establecidas en Angola, Brasil, Colombia y Costa Rica, ya sea con el Híbrido de Timor mismo o bien con sus cruces o retrocruces con variedades comerciales.

Icatú, el híbrido producido por el Instituto Agronómico de Campinas en 1950, ha sido retrocruzado con los arábicas Mundo Novo, Caturra rojo y Bourbón amarillo. Las progenies han sido evaluadas en el CIFC y se han encontrado plantas pertenecientes a los grupos A, E y posiblemente a nuevos grupos (D. Marques, sin publicar).

RAZAS DEL PATOGENO

La aparente pérdida de la resistencia en cultivares de café de la India, llamó la atención de Mayne a principios de la década de 1930, en la Estación de Café de Balehonnur. Haciendo inoculaciones experimentales no sólo en hojas sueltas flotando en agua, sino también en hojas aún adheridas a la planta, le fué posible determinar cuatro razas fisiológicas, usando muestras de roya locales y también clones diferenciales locales (44, 47). De esta manera se pudo explicar porqué variedades consideradas resistentes aparecían susceptibles más tarde.

El trabajo adelantado en el CIFIC con 779 muestras de roya procedentes de más de 30 diferentes regiones del mundo y una vasta colección de germoplasma de café ha conducido a la diferenciación de un total de 30 razas fisiológicas (17, 60), como lo muestra el espectro de infección en un grupo de 17 hospederos diferenciales. Estos hospederos son líneas clonales de cinco selecciones de *C. arabica*, seis híbridos tetraploides de *C. arabica* x *Coffea* spp. y seis selecciones de *Coffea* spp.

Las interacciones café-roya más comúnmente encontradas en el CIFIC son fl t (asociación de pequeñas manchitas cloróticas y pequeñísimas tumefacciones) y el tipo 4 (grandes pústulas uredospóricas), corrientemente representadas por R (resistente) y S (susceptible), respectivamente. Desde luego las reacciones intermedias también se observan en ciertas combinaciones de hospedero y raza y se designan como MR (moderadamente resistente), MS (moderadamente susceptible). Una descripción detallada de estos tipos de infección ha sido dada ya en otra publicación (24). Mención especial debe hacerse de la reacción t, caracterizada por la formación de hinchazones o tumefacciones, ya sea puntiformes situadas en el estoma donde penetró la roya usualmente asociadas con las manchitas cloróticas, o bien en áreas irregulares rodeando hasta cierto punto una reacción de tipo O (manchas cloróticas más grandes), o aún en ciertos casos una de tipo intermedio MR.

En el Cuadro No.1 se presenta la lista de los diferenciales y las razas fisiológicas, así como sus respectivas interacciones. No se presentan en el cuadro la raza V, que desafortunadamente se perdió, y la raza 3 de Mayne que nunca se pudo establecer en el CIFIC.

La distribución geográfica de las razas de roya se presenta en el Cuadro No. 2.

De las razas listadas sólo dos de ellas (las razas VI y XVIII) son inócuas al *C. arabica* y los híbridos tetraploides, pero otras razas como las IV, XI, XIX, XX, XXI, XXVII y XXXII, que debido al reducido número de hospederos que atacan y al tipo intermedio de reacción que inducen en los mismos, parecerían estar más conectadas con los cafés diploides. En adición estas razas han sido encontradas donde predominan precisamente esos tipos de café.

La raza II con un espectro de infección muy estrecho, es la más difundida en el mundo, habiendo sido detectada en 30 de 33 regiones diferentes del mundo en Africa, Asia y América. Esta raza es también la que más prevalece en nuestros cultivos, habiendo sido aislada en más del 50 % de las muestras de roya recibida. Su presencia tan generalizada es posiblemente consecuencia de la homogeneidad genética de la mayoría de los cultivares de café prevalentes en el mundo.

Otras razas con espectros de infección más amplios han sido aisladas, provenientes de áreas en las que existen hospederos con genes complementarios a los de las razas presentes, ejerciendo una selección direccional en la población del patógeno. Ese es el caso de la raza I que, poco después del descubrimiento de la selección Kent en India venció la resistencia de tal selección, siendo fácilmente detectada. Esta raza es particularmente prevalente en Kenya, donde una gran proporción de los cafés cultivados son derivados del Kent, como K. 7 y S. L. 6 que son susceptibles a esa raza. De las 152 muestras de roya que hemos recibido desde ese país, esa raza ha sido aislada en 50 % de los casos.

La existencia de ciertas razas aparentemente conectadas con ciertas regiones (razas VIII, XII, XIV, XXIII, XXV, XXVIII, XXXI, en la India; razas XXII, XXVI, XXIX, XXX en el Timor Portugués) podría ser explicada por la presencia de ciertos hospederos peculiares, más o menos confinados a esas regiones, como por ejemplo híbridos interespecíficos, con genes de resistencia procedentes de especies diferentes a *C. arabica* que han sustituido a los arábicas puros que fueron seriamente dañados. La variabilidad de genotipos de los hospederos ha, muy probablemente, acelerado la detección de esas razas (59).

Tomando en cuenta que Etiopía es el centro de origen del *C. arabica* y muy probablemente también de *H vastatrix*, es posible que el hospedero y el patógeno han tenido evoluciones paralelas y que la selección natural ha dado origen a plantas resistentes por un lado y a un número de razas fisiológicas del patógeno por el otro (21). Sin embargo, la prueba de 66 muestras de roya recibidas de varias áreas de Etiopía en diferentes ocasiones (3, 24) sólo permitió la identificación de las razas I (?), II, III y XV. La presencia en Etiopía de otros genotipos de café, diferentes a las contrapartes de las razas mencionadas, como ha sido constatado en el CIFIC, hace posible anticipar la presencia de otras razas. Por ejemplo la raza X no ha sido identificada en material procedente de Etiopía, pero tiene genes de virulencia complementarios a los genes de la planta CIFIC 635/3 (S. 12 Kaffa), que es una selección que sólo ha sido recibida de ese país, por lo que es casi seguro que esa raza exista allí. El no haberla encontrado aún puede atribuirse a un muestreo deficiente.

Aunque el número de muestras de roya recibido en el CIFIC puede considerarse relativamente alto, no debe perderse de vista que casi todas han venido de cafetales cultivados o semiespontáneos. Si se considera el gran número de especies que tiene el género *Coffea*, resulta que nuestra colección de muestras de roya es deficiente y no permite sacar conclusiones sobre la importancia de los cafés silvestres como fuentes de infección para los cafés cultivados.

Cuadro 2 Distribucion geográfica de las razas fisiológicas diferenciadas de *H. vastatrix*

Origen	Número de cultivos probados	Número de veces que cada raza fué identificada														
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	
Angola	91	9	36	15				1							15	
Argentina	1		1													
Brasil	86		84												2	
Cambodia	12		8				1				3					
Cameroon	17		16	1												
Rep. Centroafricana	10			2	6											
Ceylan	24	6	14												4	
Comores	1		1													
Rep. Democratica del Congo	6	1	5													
Etiopia	69	1	30	37											1	
Rep. de Guinea	3		3													
India	24	3	1	2					4			1		1		
Indonesia	7	3		1											3	
Costa de Marfil	25		22			3										
Kenya	152	70	76					1							2	
Laos	4		4													
Madagascar	12	1	9								2					
Malawi	1		1													
Mauritius	1		1													
Mozambique	14						14									
Nigeria	11			7	4											
Papua	3	1	2													
Filipinas	12	2	8						1				1			
Rep. de Vietnam	2	1	1													
Rodesia	6		6													
São Thome	17	1	13	1											1	
Rep. de SudAfrica	13		13													
Swaziland	1		1													
Tanzania	30	6	9	8							1					
Timor (Portugues)	88	4	47	1											3	
Uganda	13	1	7		3											
Zambia	13		13													
Zanzibar	11						11									
Número total	780	110	440	70	9	3	26	2	5	1	6	1	1	1	31	

HERENCIA DE LA RESISTENCIA

Mayne (45, 46) en India fué el primero en intentar el estudio genético de la resistencia de *Coffea* spp. al *H. vastatrix* e informó sobre la existencia de dos factores responsables por la resistencia de algunas de las selecciones locales a las razas prevalentes. Posteriormente a la caracterización hecha en el CIFC de los grupos fisiológicos de café, Noronha-Wagner & Bettencourt (5, 52) trabajando con *C. arabica* (grupos B, E, C, α , D, I, W, J, γ , L) y algunos híbridos interespecíficos con fenotipo de arábica (grupos G, H) pudieron identificar 5 genes dominantes S_{H1} , S_{H2} , S_{H3} , S_{H4} , y S_{H5} , los que por sí mismos o en combinaciones condicionan la resistencia de los grupos a algunas de las razas. Los genes S_{H2} y S_{H3} corresponden a dos de los factores postulados por Mayne (46). El gen S_{H3} ha sido encontrado únicamente en plantas con fenotipo arábica originarias de la India; probablemente viene de *C. liberica* uno de los ancestros de algunas de las selecciones Indúes.

Trabajos recientes llevados a cabo en el CIFC con progenies de las plantas CIFC 832/1 (Híbrido de Timor- 1) del grupo A y la planta CIFC 1343/269 (Híbrido de Timor- 2) del grupo R, parecerían indicar la presencia de nuevos genes en estas plantas.

El concepto de Flor sobre la correspondencia de gen a gen entre el hospedero y el patógeno ha podido ser aplicado con éxito en la asociación café-roya (5, 52), mediante el análisis del espectro de reacción de cada uno de 12 clones y sus híbridos hacia 18 razas fisiológicas de *H. vastatrix*.

Este análisis reveló el genotipo de 14 razas de roya y permitió predecir la posible existencia de otras aún no diferenciadas. Desafortunadamente, los genes de virulencia de las razas en cuestión no podrán ser confirmados hasta tanto no se descubra el estado sexual de *H. vastatrix*.

MEJORAMIENTO HACIA RESISTENCIA A LA ROYA

La búsqueda de la resistencia del café a la roya ha merecido atención especial en los programas de mejoramiento de *C. arabica* de varios centros experimentales.

El haber obtenido en la India las selecciones S. 288, S. 333, S. 795, las series B. A., etc., fué verdaderamente un gran paso en el mejoramiento del café hacia la resistencia a la roya y ese material está siendo usado en los centros de investigación. En el momento actual el Instituto de Investigaciones del Café de Balehonnur incluye dentro de su programa de mejoramiento el análisis de las nuevas progenies de esas selecciones y de híbridos con muy variadas combinaciones genéticas. De 22 combinaciones proveídas por el CIFC, las que más destacan son S. 2581, S. 2582, S. 2591 y S. 2593 que son el resultado de cruces entre el Híbrido de Timor y las selecciones S. 795, S. L. 30, Kent y S. 16 Wollamo, respectivamente (71).

Al iniciarse la Estación Experimental de Café de Lyamungu, en Tanzania en 1934, se buscaron árboles de alto rendimiento y buena calidad en las variedades Bourbon y Kent. La selección dentro de la variedad Kent produjo las selecciones comerciales "KP", "H", "F" y "X" (29), las que mantuvieron el tipo Kent de resistencia. Nuevas progenies de estas series e híbridos con factores diferentes de resistencia estaban bajo estudio en 1962 (28, 29). El trabajo de selección en Kenya también se inició con la variedad Kent y produjo los cultivares K. 7 y S. L. 6 que se han dispersado en las plantaciones de baja altura (32). A pesar de contener el factor S_H2 , estas plantaciones requieren de tratamientos con fungicidas para su cultivo.

La búsqueda de resistencia a la roya se inició en los programas de mejoramiento de Brasil en 1953, dentro del Departamento de Genética del Instituto Agronómico de Campinas (IAC). Se comenzó con 76 selecciones de café procedentes de Tanzania, Kenya, India, Etiopía y Sudán, obtenidas a través del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Este trabajo ya ha producido poblaciones de café que contienen separadamente los genes S_H1 , S_H2 , S_H3 y S_H4 , en forma homocigota y con el vigor y la productividad similar a los del Bourbon rojo (13, 14). La evaluación de las progenies de estos cafés, así como cientos de otros ha sido hecha en el CIFC, habiendo mantenido desde el principio una colaboración muy estrecha entre este Centro y el IAC. Las

características de las progenies de estas selecciones son: 1120 (X. 321), 1123 (KP. 263), 1128 (KP. 532), 1130 (H. 1), 1132 (KP. 423), 1136 (H. 66) y 1151 (K. 7) con $S_H2 S_H2$; 1137 y 1350 (Geisha) con $S_H1 S_H1$; 1110 (BA. 10), y 1116 (BA. 16) con $S_H3 S_H3$; 1125, 1472, 1474, 1475 (S. 6 Cioiccie), 1164 y 1471 (S. 4 Agaro) con $S_H4 S_H4$. Estos materiales ofrecen muy buenas perspectivas para su utilización en plantaciones comerciales, tan pronto como se conozca su comportamiento en distintas regiones ecológicas del país (14). También están siendo evaluados Híbridos F_2 entre estas progenies y variedades del más alto rendimiento como Mundo Novo, Catuai, y Bourbón amarillo. El IAC también ha hecho investigación con materiales derivados de *C. arabica* x *C. canephora* como el Icatú (IAC. H. 2460) y el Híbrido de Timor. También se ha puesto énfasis en el estudio de las poblaciones F_2 y F_3 de 403 híbridos sintetizados en el CIFIC y que contienen una gran gama de diferentes genotipos con resistencia a la roya.

Partiendo de 1970, también la Universidad Federal de Viçosa ha estado trabajando con las generaciones F_2 y F_3 de los híbridos del CIFIC. Entre los más sobresalientes se ha obtenido la progenie UFV 386 de la generación F_3 del híbrido del CIFIC HW. 26 (Caturra rojo x Híbrido de Timor), cuya generación F_2 fué seleccionada en el Instituto de Investigación Agronómica de Angola (IIAA). Esta progenie muestra bastante uniformidad, vigor, productividad y resistencia a todas las razas de la roya en el 96 % de las plantas.

Colombia inició trabajos de mejoramiento hacia resistencia a la roya en 1965 en CENICAFE, Chinchiná, con la cooperación del CIFIC en donde se hacen las evaluaciones por resistencia y usando germoplasma obtenido a través del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Ha sido posible seleccionar progenies con vigor y productividad similares a los del Bourbón y con características individuales de resistencia en forma homogota. Las más importantes de estas progenies y que ya se encuentran bajo observación en el campo, bajo distintas condiciones ecológicas son: derivados de H. 1, KP. 532, S. 286-7, F.840

y F. 502, todos con $S_H2 S_H2$; Geisha A ($S_H1 S_H1$), y S. 4 Agaro ($S_H4 S_H4$) (15). También se están estudiando los F_2 de los híbridos interespecíficos de variedades comerciales como el Bourbon, Caturra, San Bernardo, etc. y el Híbrido de Timor (CIFC 1343). Algunas de estas progenies son prometedoras tanto por su productividad como por su resistencia (16).

El trabajo de Angola se inició en 1960 en el centro de Estudios de Chianga del IAA. Se consiguieron y estudiaron selecciones de varios orígenes así como los F_1 y F_2 de los híbridos desarrollados por el CIFC. El trabajo exitoso ejecutado permitió la selección de progenies de: Dilla & Alge-IIAA 859 ($S_H1 S_H1$); S. 12 Kaffa-IIAA 490 ($S_H4 S_H4$); F_3 de Caturra rojo x Geisha-IIAA 1518 ($S_H1 S_H1$); F_2 de Caturra x S. 795-IIAA 860 (S_H3); F_3 de Caturra x S. 4 Agaro-IIAA 1530 ($S_H4 S_H4$); F_2 de K. 7 x Dilla & Alge-IIAA 1526 (S_H1-S_H3); F_2 de S. 333 x Dilla & Alge-IIAA 1517 (S_H1 -, S_H3 -); F_2 de Caturra rojo x Híbrido de Timor-IIAA 857; F_3 de Caturra rojo x Híbrido de Timor-IIAA 1525. Todo este material, que tiene características muy similares al arábica local susceptible, está siendo evaluado bajo condiciones ecológicas diferentes (A. M. Gaspar, A. J. Bettencourt, A. M. Ponte, sin publicar).

Otros estudios de campo sobre selección de café por resistencia a la roya se ejecutan desde 1965 en la Estación Regional de Uíge, un centro experimental del Instituto de Café de Angola (ICA), usando germoplasma proporcionado por el CIFC. Las selecciones más prometedoras de los últimos seis años son progenies de: S. 795-U 343 y U 344 ($S_H3 S_H3$); F_2 de Caturra rojo x Geisha-U 289 y U 293 ($S_H1 S_H1$); F_2 de Caturra rojo x S. 6 Cioiccie-U 278 ($S_H4 S_H4$); F_2 de Caturra rojo x S. 4 Agaro-U 346 ($S_H4 S_H4$); F_2 de Caturra rojo x Híbrido de Timor-U 189. Esta última progenie ha resultado resistente a todas las razas de roya. Con respecto a las otras, a pesar de la presencia de las razas locales prevalentes de *H vastatrix* III ($v_1 v_5$), I ($v_1 v_5$), VII ($v_3 v_5$) y XV ($v_4 v_5$), que infectan plantas con los genes S_H1 , S_H2 , S_H3 y S_H4 , respectivamente, no han sido severamente afec-

tadas. Por otro lado las progenies que contienen el gen S_H2 sufrieron un ataque fuerte y uniforme de roya; de aquí que sólo se puedan cultivar con la ayuda de control químico (A. J. Betten-court, D. T. Fernández, sin publicar).

Dentro de su programa de colaboración con otros países, el CIFIC ha continuado haciendo híbridos, con el propósito de incorporarle resistencia a la *H. vastatrix* a 46 variedades comerciales de distintos orígenes (3). Algunos de estos cruces han sido retrocruzados con Catuai, una de las variedades más sobresalientes por su productividad y porte reducido. Esta última característica es muy importante porque facilita la cosecha y los tratamientos fitosanitarios. Cerca de 1000 progenies de estos híbridos en sus F_1 , F_2 , BC_1 y BC_2 han sido seleccionadas en el invernadero por reunir condiciones de resistencia a la roya, vigor vegetativo, porte reducido y características del fruto. Este material está siendo evaluado en Angola, Brasil, Colombia, India, etc., en relación con su productividad y resistencia a las razas locales de *H. vastatrix* (13, 69).

HISTOPATOLOGIA Y BIOQUIMICA DE LA RESISTENCIA

Histopatología

El CIFIC ha realizado estudios histopatológicos de la interacción café-roya, tanto en combinaciones compatibles como incompatibles con el propósito de aclarar el fenómeno de la resistencia y la susceptibilidad. Desafortunadamente, sólo las combinaciones compatibles (tipo 4 de reacción) han sido estudiadas bajo el microscopio electrónico (40, 55, 58) y en este caso los puntos sobresalientes observados no difieren básicamente de los encontrados en otras asociaciones de hospedero-roya.

El tipo de reacción más comúnmente encontrado en las combinaciones incompatibles es el de manchitas cloróticas (fl) corrientemente asociadas con tumefacciones puntiformes (t). La expresión fenotípica fl t de la interacción ocurre de 12 a 15 días después de la inoculación. Los pasos microscópicos sucesivos

de este tipo de reacción pueden sintetizarse de la siguiente manera.

Después de la formación del apresorio, el hongo penetra a través del estoma y una hifa crece dentro de la cámara subestomatal, produciendo en su extremidad dos ramas laterales gruesas. La hifa y sus ramas asemejan un ancla. De cada una de las ramas septadas nace una hifa que se dirige para arriba hacia las células adjuntas formando en ellas un haustorio encapsulado. Es decir, que las células adjuntas son las que aparentemente son parasitadas primero en el hospedero.

El crecimiento inicial continúa hacia abajo intercelularmente y en forma vertical sin muchas ramificaciones, llegando, después de dos o tres días de la inoculación, a la segunda o tercera capa del mesofilo. Desde este momento el proceso de infección claramente se retrasa y el desarrollo del micelio se vuelve muy pobre y en muy raras ocasiones llega hasta el tejido de empalissada. Se observan muy pocos haustorios.

Sólo las células que muestran haustorios tienen citoplasma granular. Sin embargo, es posible que otras células vecinas estén alteradas en alguna forma (78), aunque esta alteración no pueda determinarse con el microscopio óptico.

Seis días después de la inoculación se comienza a notar un aumento progresivo del volumen de las células del mesofilo y consecuentemente la desaparición de los espacios intercelulares. Las primeras células que aumentan en tamaño son las subyacentes en la cámara subestomatal. Posteriormente todas las células del tejido esponjoso toman formas irregulares, algunas con paredes más gruesas. Sus núcleos también aumentan de tamaño (1.5X) y también los nucleolos (2 - 3 X). El parénquima de empalissada no muestra ninguna alteración morfológica.

Como resultado del crecimiento anormal de las células del tejido esponjoso, la epidermis inferior es empujada hacia afuera en el área afectada, formándose una zona convexa que correspon-

de a la tumefacción (56). Durante el proceso de aumento en volumen de las células, parecería que el micelio es aplastado entre las células.

Los síntomas de las hojas del café conocidos en Kenya y Tanzania como "weak spots" y de las cuales se desconoce su etiología, se parecen mucho a la reacción fl t. Cortes efectuados en material amablemente proporcionado por el Dr. R. T. A. Cook mostraban el mismo tipo de alteración histológica, aunque no se podría demostrar positivamente la presencia del micelio.

La presencia de manchitas sin tumefacción ha sido observada muy pocas veces, al menos bajo nuestras condiciones. Sin embargo, en los pocos casos que han sido observadas se notaron el mismo desarrollo del hongo y las mismas características de las células del hospedero que para la reacción fl t. La única diferencia ha sido que el aumento en volumen de las células no ha sido lo suficientemente grande como para formar la tumefacción en la epidermis inferior.

Otra característica microscópica que fue observada accidentalmente en casos de manchita sin tumefacción, fue la formación de una banda de 4-5 células meristemáticas en forma cóncava al punto de infección, en la segunda o tercera hileras del mesofilo. El tejido calloso producido por el meristemo al hacer presión sobre las células de la epidermis causó su muerte (37). El desarrollo del hongo quedó confinado al área de penetración, formándose una zona limitada. En una misma sección, el tejido meristemático algunas veces quedó como un listón ondulado, con varias zonas limitadas que correspondían a los puntos de infección.

El tipo de reacción O que aparece rodeada de una tumefacción irregular, se encuentra principalmente en especies distintas de *C. arabica* o bien en híbridos de *C. arabica* con "sangre" de otras especies de café. Esta reacción se caracteriza por un crecimiento profuso del micelio en el área clorótica, con células de tamaño normal y evidencia clara de la existencia de haustorios. Limi-

tando esa área se nota una zona de tumefacción formada por células de gran tamaño que actúan como barrera para evitar el avance del micelio.

Bioquímica

Aunque se sabe bastante sobre la genética de la resistencia de *C. arabica* y de algunos híbridos interespecíficos tetraploides a las razas de *H. vastatrix*, casi nada se sabe aún sobre los posibles mecanismos bioquímicos por medio de los cuales se expresa esta resistencia.

Se ha intentado correlacionar la resistencia del hospedero con mayores contenidos de fenoles y de mayor actividad de fenol oxidasa (8, 36), comparando plantas sanas e inoculadas de distintos grupos fisiológicos, pero en todos los casos los resultados no fueron concluyentes.

Ultimamente se ha explorado en el CIFIC la posible inducción de sustancias antifungosas a altos niveles como consecuencia de la inoculación de *C. arabica* con la roya (62). Cultivares de *C. arabica* que difieren en un solo gen de resistencia, así como razas de roya que difieren en un solo gen de virulencia, permiten el establecimiento de combinaciones de compatibilidad e incompatibilidad entre *H. vastatrix* y *C. arabica*. Todas las combinaciones incompatibles producen difusiones que inhiben significativamente el crecimiento de todas las razas probadas. Esta inhibición fué estimada en términos de porciento de germinación y longitud del tubo germinativo. Por el contrario, difusiones preparadas con combinaciones compatibles no causaron aumento en la inhibición en comparación con las difusiones de hojas inoculadas. Resultados similares fueron obtenidos con otras interacciones compatibles e incompatibles de hospedero y patógeno. Inoculaciones previas de hojas de café con una raza no virulenta de *H. vastatrix*, aumentaron significativamente ($P=0.001$) la resistencia de esas hojas a otra raza compatible.

Una explicación simple de la asociación entre incompatibilidad y toxicidad es la de que los productos del gen S_H están in-

volucrados con el "reconocimiento" de razas incompatibles y que después del reconocimiento prosigue una reacción común que resulta en aumento de la toxicidad (62). Sería muy interesante conocer qué sustancia (s) fungitóxicas están implicadas en las combinaciones incompatibles y si son diferentes en cada combinación de cultivar-roya que se use.

Basándose en la idea de algunos investigadores (27) de que la naturaleza de las reacciones de la enfermedad está determinada por los antígenos que son comunes al hospedero y al patógeno, Alba y sus colaboradores (1) estudiaron el comportamiento antigénico de las sustancias salinas solubles obtenidas de uredosporas de *H. vastatrix* raza II y de hojas de café resistente y susceptible. Los resultados obtenidos hasta ahora muestran que no se encontraron antígenos comunes y lo que es más, los antígenos del hongo y del hospedero mostraron polaridades opuestas en muestras de inmunolectroforesis.

NOTAS FINALES

Aunque *H. vastatrix* sigue siendo considerada un enemigo del cultivo del café en las áreas en las que la roya es endémica y como una fuerte amenaza en los países en los que aún no existe, las perspectivas para controlarla por medio de variedades resistentes son más optimistas que nunca. De hecho, los esfuerzos combinados de algunos centros experimentales de café y el CIFC ofrecen nuevos y prometedores cursos de acción en lo que respecta a los cafés arábicas. En esencia estos son: a) selecciones que contienen uno o dos de los genes conocidos de resistencia a la roya en forma homocigota y con características similares a los arábicas tradicionales; b) híbridos entre variedades (comerciales y selecciones con factores S_H conocidos; c) híbridos interespecíficos como el Icatú y el Híbrido de Timor y estos con variedades comerciales, algunos de los cuales con resistencia total a *H. vastatrix*; d) una gran cantidad de material básico con una gama muy grande de genotipos que se encuentran en evaluación en pruebas de campo.

El material especificado como (a) ha sido ya distribuido entre los caficultores brasileños en pequeñas cantidades como una mezcla de genotipos (llamada Iarana), para su evaluación en el campo comparándola con las variedades tradicionales que requieren tratamientos fitosanitarios. El resto de los materiales continúa aun bajo estudio, pero algunos de ellos son verdaderamente prometedores en lo que se refiere a su productividad y resistencia a la roya. El gran espectro de resistencia contenido en los materiales (c) podría estimular su uso, en un futuro cercano, en áreas muy dañadas por la roya y/o en donde el control químico no resulte económico.

Las fuentes de resistencia determinadas bajo condiciones de invernadero durante las dos últimas décadas y utilizadas como material básico en los programas de mejoramiento de arábicas, han sido seleccionadas solamente hacia la resistencia vertical o diferencial. Sin embargo, pruebas de campo establecidas en ciertas regiones con estos materiales parecen indicar la presencia de resistencia horizontal, especialmente en las colecciones etíopes. Se sugiere, por lo tanto, a los mejoradores de café el buscar este tipo de resistencia ya que su uso sería de gran interés en el mejoramiento del café por resistencia a la roya.

En relación con *C. canephora* el problema de la resistencia a *H. vastatrix* es mucho menos crítico debido a su más alta resistencia generalizada y a su amplia variabilidad.

Literatura Citada

1. Alba, A. P. C., Namekátá, T., Moraes, W. B. C., Oliveira, A. R., Figueiredo, M. B. 1973. Serological studies on coffee rust. *Arg. Inst. Biol.* 40:227-31
2. Bettencourt, A. J. 1973. Considerações gerais sobre o 'Híbrido de Timor.' *Instituto Agronômico, Circ. #23.* Campinas, Brazil
3. Bettencourt, A. J., Lopes, J. 1965. Breeding of *C. arabica* L. for rust resistance. *Centro Inv. Ferrug. Caf. Prog. Rept.* 1960-65:124-34
4. Bettencourt, A. J., Lopes, J. 1968. Preliminary report of the coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) material received from the FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-65. *FAO Coffee Mission to Ethiopia* 1964-65:124-40. Rome: FAO
5. Bettencourt, A. J., Noronha-Wagner, M. 1971. Genetic factors conditioning resistance of *Coffea arabica* L. to *Hemileia vastatrix* B. & Br. *Agron. Lusit.* 31:285-92
6. Bettencourt, A. J., Rodrigues, C. J. Jr. 1965. Routine screening for resistance to *Hemileia vastatrix* B. & Br. on *Coffea canephora* Pierre and *Coffea* spp. accessions from different regions of the world. *Centro Inv. Ferrug. Caf. Prog. Rept.* 1960-65:100-20
7. Bock, K. R. 1962. Control of coffee leaf rust in Kenya Colony. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 45:301-13
8. Bruges, J., Contreiras, J. 1967. Aspects biochimiques de la résistance du caféier à l'*Hemileia vastatrix*. *Port. Acta Biol.* 10:75-88
9. Cannell, M. G. R. 1971. *Coffee Res. Found. Kenya Ann. Rept.* 1970-71:41-48
10. Capot, J. 1972. L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire. Les hybrides "Arabusta." *Café Cacao Thé* 16:3-18
11. Capot, J., Dupautex, B., Durandau, A. 1968. L'amélioration du caféier en Côte d'Ivoire. Duplication chromosomique et hybridation. *Café Cacao Thé* 12:114-26
12. Carvalho, A. et al 1969. Coffee (*Coffea arabica* L. and *C. canephora* Pierre ex Froehner). *Outlines of Perennial Crop Breeding in the Tropics*, ed. F. P. Ferwerda, F. Wit, 189-241. Wageningen: Landbouwhogeschool. 511 pp.
13. Carvalho, A., Monaco, L. C. 1971. Melhoramento do caféier visando a resistência à ferrugem alaranjada. *Ciênc. Cult. São Paulo* 23:141-46
14. Carvalho, A., Monaco, L. C. 1972. Adaptação e produtividade de caféeiros portadores de factores para resistência à *Hemileia vastatrix*. *Ciênc. Cult. São Paulo* 24:924-32
15. Castillo, J., Lopez, S., Torres, E. 1972. Comportamento de introducciones de café com resistência à *Hemileia vastatrix* en Colombia. *Centro Nacion. Invest. Café, Chinchiná, Colombia.* 31 pp.
16. Castillo, J., Lopez, S., Torres, E. 1972. Plan de trabajo sobre resistência a la roya del Cafeto. *Centro Nac. Invest. Café, Chinchiná, Colombia.* 47 pp.
17. *Centro de Investigação das Ferrugens do Caffeeiro.* 1971. Oeiras, Portugal. 29 pp.
18. Chevalier, A. 1947. *Les Caféiers du Globe.* Fascicule III. Paris: Paul Lechevalier. 356 pp.
19. Chouleur, P. 1972. Les produits tropicaux et méditerranéens de la production à la consommation. *Marchés Trop.* 1415:3625-3833
20. Cramer, P. J. S. 1957. A review of literature of coffee research in Indonesia, ed. F. Wellman. *Inter-Am. Inst. Agric. Sci. Misc. Publ.* 15. Turrialba, Costa Rica. 262 pp.
21. D'Oliveira, B. 1951. The centers of origin of cereals and the study of their rusts. *Agron. Lusit.* 23:221-26
22. D'Oliveira, B. 1954-57. As ferrugens do caféeiro. *Rev. Café Port.* 1(4):5-13; 2(5):5-12; 2(6):5-13; 2(7):9-17; 2(8):5-22; 4(16):5-15
23. D'Oliveira, B. 1958. Selection of coffee types resistant to the *Hemileia* leaf rust. *Coffee Tea Ind. Flavor Field* 81:112-20
24. D'Oliveira, B., Rodrigues, C. J. Jr. 1959. Progress report to Ethiopia. *Garcia de Orta* 7:279-92
25. D'Oliveira, B., Rodrigues, C. J. Jr. 1961. O problema das ferrugens do caféeiro. *Rev. Café Port.* 8(29):5-50
26. D'Ornano, M., Chassevent, F., Pougneaud, S. 1965. *Composition et caractéristiques chimiques de Coffea sauvages de Madagascar.* I. *Recherches préliminaires sur la teneur en caféine et isolement de la cafamarine.* Presented at 2nd Colloq. Int. Chimie des Cafés, Paris
27. Doubly, J. A., Flor, H. H., Clagett, C. O. 1960. Relation of antigens of *Melampsora lini* and *Linum usitatissimum* to resistance and susceptibility. *Science* 131:229

28. Fernie, L. M. 1962. *Tanganyika Coffee Board Res. Rept.* 20-26
29. Fernie, L. M. 1964. *Handbook on Arabica Coffee in Tanganyika*. ed. J. B. D. Robinson, 1-8. Tanganyika Coffee Board. 182 pp.
30. Fernie, L. M. 1965. *Tanganyika Coffee Board Res. Rept.* 20-24
31. Fernie, L. M. 1967. *Tanganyika Coffee Board Res. Rept.* 22-27
32. Firman, I. D., Hanger, B. F. 1963. Resistance to coffee leaf rust in Kenya. *Coffee Turrialba* 5(18):49-59
33. Firman, I. D., Wallis, J. A. N. 1965. Low-volume spraying to control coffee leaf rust in Kenya. *Ann. Appl. Biol.* 55:123-37
34. Flor, H. H. 1955. Host-parasite interaction in flax-rust, its genetics and other implications. *Phytopathology* 45:680-85
35. Goncalves, M. M., Daenhardt, E. 1971. A *Hemileia vastatrix* B. et Br. em Timor. Nota sobre a sua importância econômica e melhoramento do cafeeiro face à doença. MEAU.- 666. *Missao Estudos Agronômicos Ultramar*, Lisboa, Portugal. 17 pp.
36. Guedes, M. E. M., Rodrigues, C. J. Jr. 1974. Disc electrophoretic patterns of phenoloxidase from leaves of coffee cultivars. *Port. Acta Biol.* 13:169-78
37. Hjodo, H., Uritani, J., Akai, S. 1968. Formation of callus tissue in sweet potato stems in response to infection by an incompatible strain of *Ceratocystis fimbriata*. *Phytopathology* 58:1032-33
38. Instituto Brasileiro do Café—Gerca. 1972. *Novos resultados de controle químico da ferrugem do cafeeiro no Brasil*. Presented at 64th Ann. Meet. Am. Phytopathol. Soc., Mexico City
39. Jones, P. A. 1957. Notes on the varieties of *Coffea arabica* in Kenya. *Selected Articles on Coffee Culture*. Kenya Coffee Board. 185 pp.
40. Kitajima, E. W. 1972. Ultraestrutura do fungo causador da ferrugem do cafeeiro nos tecidos da hospedeira. *Ciênc. Cult. Sao Paulo* 24:267-72
41. Krug, C. A., De Poyck, R. A. 1968. *World Coffee Survey*. Rome: FAO. 476 pp.
42. Large, E. C. 1940. *The Advance of the Fungi*. New York: Dover Publications Inc. 488 pp.
43. Leroy, J. F. 1961. Coffeae novae mada-gascariensis. *J. Agric. Trop. Bot. Appl.* 8:1-29
44. Mayne, W. W. 1932. Physiologic specialization of *Hemileia vastatrix* B. & Br. *Nature* 129:150
45. Mayne, W. W. 1935. Annual Report of the Coffee Scientific Officer, 1934-35. *Mysore Coffee Exp. Stn. Bull.* 13. 28 pp.
46. Mayne, W. W. 1936. Annual report of the coffee scientific officer, 1935-36. *Mysore Coffee Exp. Stn. Bull.* 14. 21 pp.
47. Mayne, W. W. 1942. Annual report of the coffee scientific officer, 1941-42. *Mysore Coffee Exp. Stn. Bull.* 24. 21 pp.
48. Meyer, F. G. 1965. Notes on wild *Coffea arabica* from southwestern Ethiopia, with some historical considerations. *Econ. Bot.* 19:136-51
49. Monaco, L. C., Carvalho, A., Antunes, C. S. N. 1967. Aproveitamento de uma combinação híbrida interespecifica para fins de melhoramento do cafeeiro. *Fitotec. Latinoam.* 4:113-21
50. Narasimhaswamy, R. L. 1960. Arabica selection S.795. Its origin and performance. A study. *Indian Coffee* 24:197-204
51. Narasimhaswamy, R. L. 1961. Coffee leaf disease (*Hemileia*) in India. *Coffee Turrialba* 3:33-39
52. 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.* 45:2021-31
53. Ramos, H. C. 1973. Royas del cafeto (*Hemileia* spp.). Bibliografía. *Inst. Interam. Cienc. Agric. Org. Estad. Am. Turrialba*, Costa Rica. 71 pp.
54. Rayner, R. W. 1962. The control of coffee rust in Kenya by fungicides. *Ann. Appl. Biol.* 50:245-61
55. Rijkenberg, F. H. J., Truter, S. J. 1973. Haustoria and intracellular hyphae in the rusts. *Phytopathology* 63:281-86
56. Rijo, L. 1972. Histopathology of the hypersensitive reaction *t* (tumefaction) induced on *Coffea* spp. by *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Agron. Lusit.* 33:427-31
57. Rijo, L. 1974. Observações cariológicas no cafeeiro 'Híbrido de Timor.' *Port. Acta Biol.* 13:157-68
58. Rijo, L., Sargent, J. 1974. The fine structure of the coffee leaf rust, *Hemileia vastatrix*. *Can. J. Bot.* 52:1363-67
59. Rodrigues, C. J. Jr. 1972. *Resistance in Coffee to the Orange and Powdery Rusts*. Presented at 64th Ann. Meet. Am. Phytopathol. Soc., Mexico City
60. Rodrigues, C. J. Jr., Bettencourt, A. J., Lopes, J. 1965. Study of the physiologic

- specialization of the coffee rust *Hemileia vastatrix* B. & Br. and selection of coffee clones for the establishment of a standard range of differential hosts for this rust. *Centro Inv. Ferrug. Caf. Prog. Rept.* 1960-65:21-27
61. Rodrigues, C. J. Jr., Bettencourt, A. J. 1965. Routine screening for resistance to *Hemileia vastatrix* B. & Br. on *Coffea arabica* L. accessions from different coffee producing regions of the world. *Centro Inv. Ferrug. Caf. Prog. Rept.* 1960-65:47-99
 62. Rodrigues, C. J. Jr., Lewis, B. G., Medeiros, E. F. 1974. Relationship between a phytoalexin-like response in coffee leaves (*Coffea arabica* L.) and compatibility with *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Physiol. Plant Pathol.* In press
 63. Rossetti, V., Silveira, M. L., Luen-singer, B. M., Souza, S. R. 1974. Coffee Rust. Bibliography with abstracts 1953-73. *Inst. Biol.* São Paulo, Brasil 221 pp.
 64. Schieber, E. 1972. Economic impact of coffee rust in Latin America. *Ann. Rev. Phytopathol.* 10:491-510
 65. Sylvain, P. G. 1955. Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. *Turrialba* 5:37-53
 66. Sylvain, P. G. 1956. Le café du Yémen. *L'agron. Trop.* 11:62-73
 67. Sylvain, P. G. 1958. Ethiopian coffee. Its significance to world coffee problems. *Econ. Bot.* 12:111-39
 68. Thirumalachar, M. J., Narasimhan, M. J. 1947. Studies on the morphology and parasitism of *Hemileia* species on Rubiaceae in Mysore. *Ann. Bot. London* 11:77-89
 69. Twentyfifth Annual Detailed Technical Report 1971-72. *Indian Coffee Board Res. Dep.* 46-54
 70. Vermeulen, H. 1966. *Coffee Res. Found. Kenya Ann. Rept.* 1964-65:57-60
 71. Vishveshwara, S., Govindarajan, A. G. 1970. Studies on 'Híbrido de Timor' coffee collection. *Indian Coffee* 34: 71-78
 72. Waller, J. M. 1972. Coffee rust in Latin America. *Pest Article News Summ.* 18:402-8
 73. Wallis, J. A. N., Firman, I. D. 1962. Spraying arabica coffee for the control of leaf rust. *East Afr. Agric. For. J.* 28:89-104
 74. Wellman, F. L. 1952. Peligro de introducción de la *Hemileia* del café a las Americas. *Turrialba* 2:47-50
 75. Wellman, F. L. 1953. The Americas face up to the threat of coffee rust. *For. Agric.* 17(3):1-7
 76. Wellman, F. L. 1955. Past and present investigation on the common coffee rust, and their importance for tropical America. (Mimeo.) 74 pp.
 77. Wellman, F. L. 1961. *Coffee: Botany, Cultivation and Utilization.* London: Leonard Hill. 488 pp.
 78. Zimmer, D. E. 1965. Rust infection and histological response of susceptible and resistant safflower. *Phytopathology* 55: 296-301

Impreso en El Salvador
TIP. COM.
Santa Ana





**CENTRO DE INVESTIGAÇÃO DAS FERRUGENS
DO CAFEIRO
ESTAÇÃO AGRONÓMICA NACIONAL
OEIRAS
PORTUGAL**

IICA CH S