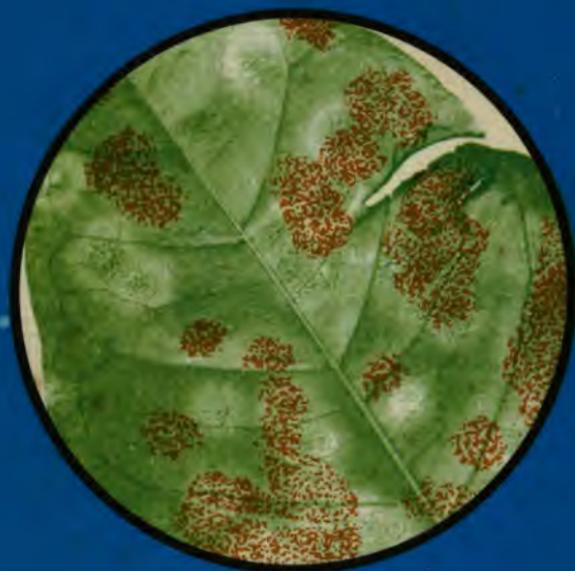


INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS - OEA



**CONTRIBUCIONES DEL IICA  
AL CONOCIMIENTO  
DE LA ROYA DEL CAFETO**

SAN JOSE, COSTA RICA, FEBRERO DE 1977



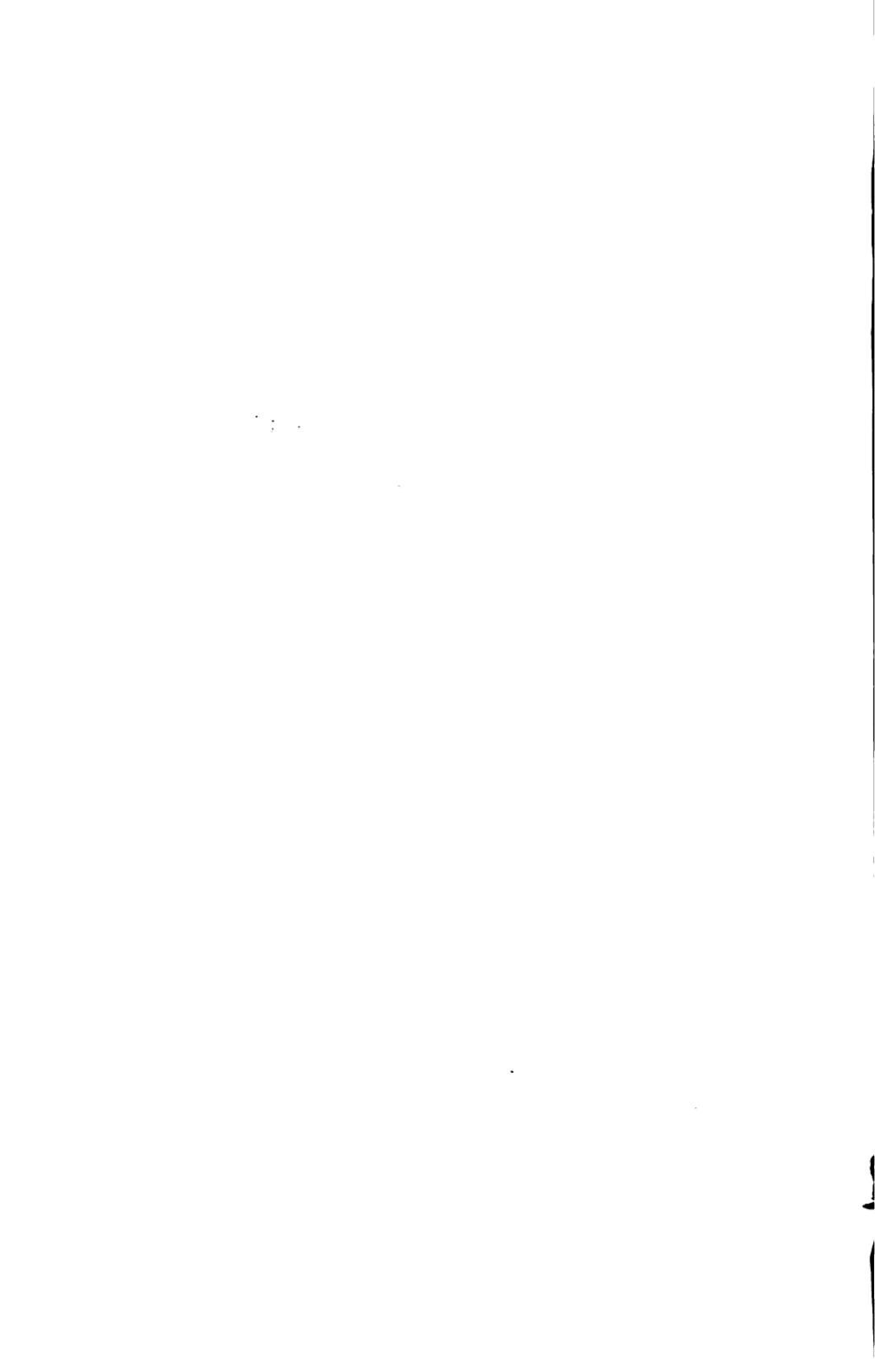
10 JUN 1976

IICA  
BIBLIOTECA VENEZUELA  
21 MAY 2007  
RECIBIDO



# CONTRIBUCIONES DEL IICA AL CONOCIMIENTO DE LA ROYA DEL CAFETO

SAN JOSE, COSTA RICA, FEBRERO DE 1977



## PRESENTACION

*El Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas ha estado consciente y preocupado de la gravedad que involucra una enfermedad tan seria como la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), para la caficultura latinoamericana. Fue así que en 1952 el Dr. Frederick Wellman, en ese entonces funcionario del IICA, dio la primera voz de alarma sobre el peligro de la introducción de esta enfermedad a las Américas, cosa que hizo a través del Organó Oficial del IICA, la Revista TURRIALBA.*

*Posteriormente siguieron otras actividades y publicaciones sobre el mismo tema hasta 1970 cuando esta seria enfermedad hizo su aparición en Brasil, habiéndose intensificado dichas acciones. En 1976 la roya apareció en Centroamérica y nuevamente el interés de técnicos, caficultores y autoridades de los países del área volvió a aumentar y así la demanda de información sobre este nuevo problema para la caficultura de la región.*

*Respondiendo a esta necesidad se reproducen en esta oportunidad cuatro publicaciones de la larga lista que ha hecho el IICA, que presentan en forma muy completa los aspectos del hongo relacionados con la biología del mismo, historia y apariencia de la enfermedad, repercusiones de índole económica y finalmente métodos modernos de control químico y por medio de variedades resistentes.*

*Se trata de una selección de publicaciones técnicas dirigidas a Ingenieros Agrónomos, caficultores y estudiosos en general, que deseen adentrarse en los conocimientos técnicos modernos que se tienen sobre la enfermedad.*

00000242

~~001226~~

## CONTENIDO

Este volumen integra cuatro publicaciones misceláneas en orden consecutivo, que son:

Publicación Miscelánea N° 94

MICOLOGIA, HISTORIA Y BIOLOGIA DE LA ROYA DEL CAFETO

*R. W. Rayner B.A. (Hons.) A.I.C.T.A.*

Publicación Miscelánea N° 106

IMPACTO ECONOMICO DE LA ROYA DEL CAFETO EN AMERICA LATINA

*Eugenio Schieber*

Publicación Miscelánea N° 126

SIMPOSIO SOBRE LA ROYA DEL CAFE

*(Hemileia vastatrix Berk. & Br.)*

Publicación Miscelánea N° 134

RAZAS DEL PATOGENO Y RESISTENCIA A LA ROYA DEL CAFE

*C. J. Rodrigues Jr., A. J. Bettencourt, L. Rijo*

Entre cada una de ellas se ha incluido una hoja de color para facilitar su ubicación.



**Publicación Miscelánea No. 94**

**MICOLOGIA,  
HISTORIA  
Y BIOLOGIA  
DE LA ROYA  
DEL CAFETO**

**R. W. Rayner B. A. (Hons.) A.I.C.T.A.**

**Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A.  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Turrialba, Costa Rica  
1972**



**MICOLOGIA, HISTORIA Y BIOLOGIA DE LA ROYA DEL CAFETO**

por

***R. W. Rayner, B. A. (Hons.) A.I.C.T.A.  
Anteriormente de los Servicios de Investigación de Café de Kenya  
y del "Commonwealth Mycological Institute"***

**Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A.  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Turrialba, Costa Rica**

1972



## MICOLOGIA, HISTORIA Y BIOLOGIA

### DE LA ROYA DEL CAFETO

#### PROLOGO

*La presencia de la roya del cafeto en Brasil, descubierta a principios del año 1970, despertó una gran inquietud en los países productores de café de América, ante el peligro de diseminación de esa seria enfermedad en este continente.*

*Como medida de prevención y de control de la roya, en diversas reuniones se subrayó la necesidad de un programa de información dirigido tanto a los técnicos como a los productores. El programa a nivel técnico debería aportar detalles sobre los varios aspectos de la enfermedad y de su agente causal. Esta preocupación dio origen a la presente publicación.*

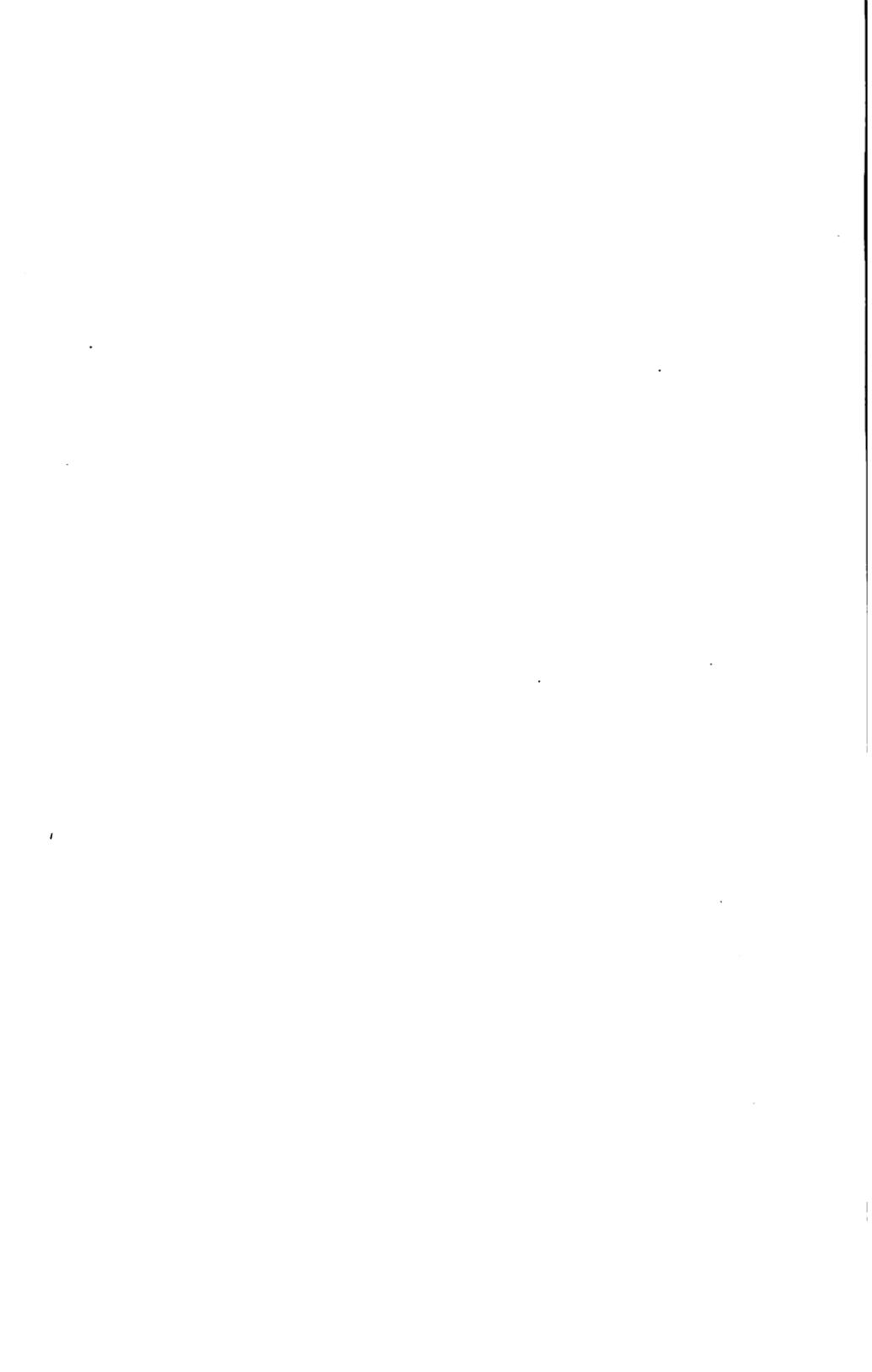
*El señor R. W. Rayner, autoridad reconocida sobre la roya del cafeto, tenía en preparación un manuscrito sobre dicha enfermedad y gustosamente accedió inmediatamente a nuestra solicitud para publicar el trabajo en español. Apreciamos mucho este gesto del señor Rayner, que nos permite poner a la disposición de los profesionales de habla hispana el fruto de sus conocimientos en la materia.*

*El señor Rayner nació en Londres, en 1914; estudió en el Colegio de Latymer, Hammersmith y luego en el "King's College" de la Universidad de Cambridge donde obtuvo, "con honores", un diploma en botánica. Después de graduarse, consiguió una beca en patología vegetal y pasó un año en el "Imperial College of Tropical Agriculture" de Trinidad, donde le fue conferido otro grado académico. Desde 1940 hasta 1958 fue fitopatólogo y fitofisiólogo en los Servicios de Investigaciones de Café del Gobierno de Kenya en Africa Oriental. Por razones de salud regresó a Inglaterra a trabajar con el "Commonwealth Mycological Institute" en Kew. Sus labores incluyeron la supervisión del trabajo de un grupo de fitopatólogos de la Comunidad Británica. Era Vice-Presidente de la Sociedad Británica de Micología al jubilarse en 1968 por motivos de salud.*

*Agradecemos al Dr. Ludwig Müller, fitofisiólogo del IICA-CTEI, su dedicación y empeño en la traducción de esta obra del inglés al castellano. Apreciamos también la participación del Ing. Edilberto Camacho, horticultor, en la revisión final de la traducción.*

*Finalmente, reconocemos la gentileza de los doctores F. J. Nutman y Mary F. Roberts, que autorizaron la reproducción de siete ilustraciones tomadas de un artículo de ellos publicado en la Revista de la Sociedad Británica de Micología (Proceedings of British Mycological Society). Esta Sociedad debe compartir este reconocimiento por haber también autorizado la reproducción de las ilustraciones.*

Pierre G. Sylvain  
Horticultor Emérito  
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales  
IICA-CTEI  
Turrialba, Costa Rica



## CONTENIDO

	Pág. No.
INTRODUCCION .....	1
SINTOMATOLOGIA .....	2
EL HONGO .....	4
Presencia y papel de las teleutósporas .....	9
HONGOS EMPARENTADOS .....	11
HOSPEDANTES .....	14
RESUMEN HISTORICO .....	16
GERMINACION DE LAS ESPORAS .....	26
Tiempo requerido para la germinación .....	27
Efecto de la temperatura .....	28
Requerimiento de humedad .....	29
Efecto de la luz .....	31
Efecto del substrato .....	36
Efecto de disoluciones diluidas de fungicidas .....	36
Efecto de concentración .....	36
Germinación bajo condiciones de campo .....	36
VIABILIDAD DE ESPORAS .....	39
CRECIMIENTO DEL TUBO GERMINAL Y FORMACION DEL APRESORIO ....	42
INFECCION .....	43
PERIODO DE INCUBACION .....	49
LIBERACION DE ESPORAS Y DISPERSION .....	52
LITERATURA CITADA .....	65



## INTRODUCCION

La roya, o herrumbre, es sin duda la enfermedad más seria del café. No sólo es de muchísima importancia para el caficultor sino también la más conocida y de más mala reputación de todas las enfermedades de las plantas tropicales. Large (1940), en su bien conocido y ameno libro "The Advance of the Fungi" (El avance de los hongos), colocó la roya del café entre las siete pestes y enfermedades más importantes de los últimos 100 años, a las que podría compararse con las plagas de los tiempos bíblicos de Egipto. Este hongo no solamente ha producido —y todavía produce— pérdidas económicas enormes sino que sus devastaciones servían para subrayar a los agrónomos de mediados del siglo pasado, la enorme importancia del estudio de las enfermedades de las plantas. Es en realidad una 'enfermedad clásica' y fue objeto de una de las primeras investigaciones científicas acerca de una enfermedad vegetal llevada a cabo por un fitopatólogo de renombre de su tiempo, Marshall Ward.

La investigación de Marshall Ward fue una de las que marcaron el inicio de una nueva era en la micología, ya que acababa de conocerse entonces que los hongos podrían constituir la causa de enfermedades de las plantas y no solamente una de las consecuencias. Este investigador tenía que subrayar continuamente este hecho ante los caficultores de Ceilán para quienes trabajaba. Para ellos una enfermedad era algo bastante misterioso, que se debía principalmente a factores ambientales, poco entendidos y a menudo vagamente caracterizados, o a procedimientos incorrectos en el cultivo de la planta. Así como el famoso tizón de la papa, responsable de la carestía de la papa irlandesa en los años 1845-1860, que se creyó era causado por tejidos vegetales acuosos debidos a lluvia excesiva, la roya del café se atribuyó a fertilización incorrecta, a suelos no aptos o a métodos de cultivo inadecuados. Aún hoy día persisten estas ideas. Aunque es cierto que existen muchos casos en que un ambiente adverso facilita el ataque de un hongo, hay también muchos en los cuales los factores ambientales son óptimos para el cultivo de una planta útil, pero que al mismo tiempo son especialmente favorables para el desarrollo de enfermedades. Esto es definitivamente cierto tratándose de *Coffea arabica* y su roya.

Las investigaciones de Ward pusieron de manifiesto la necesidad de un control químico y aunque el tratamiento que él diseñó no fue suficientemente efectivo, sus ideas sirvieron de base para desarrollar el control químico eficaz de enfermedades de las plantas.

Los efectos tan graves de esta enfermedad pueden apreciarse rápidamente cuando tomamos en cuenta que antes de aparecer en Ceilán, alrededor de 1869, este país era uno de los principales países caficultores del mundo y que actualmente es difícil encontrar cafetos creciendo allí.

La importancia de la roya puede también desprenderse del volumen de su bibliografía, compilada por Stevenson y Beam\* en 1963, la cual contiene aproximadamente 1000 entradas, y año tras año hay muchas nuevas adiciones a esta lista. Afortunadamente, el autor considera que solamente un número limitado de ellas merecen citarse en la presente publicación.

\* Nota del traductor: Véase también: Royas del café (*Hemileia vastatrix* spp.). Bibliografía. Biblioteca Conmemorativa Orton. Bibliografías No. 1. Suplemento Especial. 1970. 108 p. (Incluye más de 1200 citas bibliográficas)

La enfermedad ha recibido varios nombres en inglés, tales como 'coffee leaf disease' (enfermedad de la hoja del cafeto), 'coffee leaf rust' (roya de la hoja del cafeto), 'orange rust of coffee' (roya anaranjada del cafeto), 'common rust of coffee' (roya común del cafeto), 'oriental rust of coffee' (roya oriental del cafeto), '*Hemileia*' (*Hemileia*), 'red spot' (mancha rojiza), etc. Para simplificar, se utilizará el término 'roya del cafeto', y a la mucho menos frecuente enfermedad causada por *Hemileia coffeicola* se le designará 'roya gris del cafeto'.

Los nombres en otros idiomas son:

Francés:

Rouille des caféiers, rouille vraie des caféiers, maladie de l'*Hemileia*, *Hemileia*

Holandés:

Koffie-bladzichte

Alemán:

Blattfleckenkrankheit der Kaffeebäume, Kaffeeblattkrankheit

Portugués:

Ferrugem alaranjado do cafeeiro

Español:

Herrumbre del café, roya del café

Italiano:

Ruggine del caffè

## SINTOMATOLOGIA

La roya del cafeto es causada (Berkeley 1869, Ward 1882c) por *Hemileia vastatrix* B. & Br., un hongo que pertenece a la familia de las pucciniáceas de las uredinales, la cual incluye también las bien conocidas royas de los cereales. El hongo produce manchitas redondeadas, amarillo-anaranjadas y polvorientas en el envés de las hojas. Al comienzo, el área afectada por una sola infección tiene un diámetro de unos 3 mm y es aproximadamente circular, pero gradualmente aumenta el tamaño hasta 2 cm o más y puede unirse con otras infecciones para formar una lesión más o menos irregular que a veces puede abarcar gran parte de la superficie foliar. Cuando la lesión se toca con el dedo, parte del polvo de esporas, de color amarillo-anaranjado, queda pegado en él. Si hay esporulación abundante, un ligero toque de la hoja puede hacer que una nube de esporas se desprenda. En los estados muy tempranos se nota sólo una mancha pálida, amarillenta, en el envés de la hoja. Esta mancha es translúcida y si se examina contra la luz pareciera deberse a aceite. Uno o dos días después de su primera aparición, la mancha toma un tinte anaranjado y la superficie se vuelve polvorienta y comienza la formación de esporas. Luego se hace visible gradualmente en el haz foliar como un área más amarillenta pero más pálida que en el envés, pero como no se producen esporas, su superficie no se vuelve polvorienta. Cuando las áreas de la hoja atacada por el hongo se hacen más viejas, su centro muere, se vuelve marrón oscuro y se seca. La formación de esporas en estas áreas muertas cesa y con frecuencia las esporas presentes tienden a volverse blancuzcas o grisáceas y pueden, en gran parte, desaparecer. Aún antes de que el tejido foliar se torne marrón, las esporas pueden aparecer más pálidas en la masa central de la lesión y pueden volverse hasta blancuzcas, sin tinte anaranjado. Nutman y Roberts (1963) han demostrado que el porcentaje de esporas con contenido hialino aumenta hacia el centro de la lesión y que la pérdida de color no se debe necesariamente al envejecimiento de las esporas *in situ*, pues al ser removidas puede producirse una nueva generación de esporas

hialinas. En tales áreas las fructificaciones de otros hongos, que estaban presentes en la hoja como infecciones latentes, pueden aparecer como manchas negras o pueden comenzar a desarrollar hongos saprofiticos. La pérdida del color amarillento-anaranjado típico de las esporas puede acelerarse con la presencia de un hongo blancuzco, parasítico, *Verticillium hemileiae* Bour. En etapas avanzadas del ataque, la mayor parte del área afectada muere y solamente de vez en cuando, cerca del margen, sobreviven áreas amarillentas-anaranjadas portadoras de esporas.

La expansión lateral de la lesión la puede interrumpir completamente el nervio central (comúnmente) o una vena lateral (menos frecuentemente), pero a veces estas barreras apenas retardan la expansión de una lesión o tienen poco efecto. La apariencia exacta de una lesión puede variar de acuerdo con la variedad del café, según su susceptibilidad. Tales variaciones pueden afectar el tamaño de las lesiones, la proporción del área que muere y el espesor de la capa de polvo formada por las esporas. A veces se puede apreciar una especie de zonificación circular de la parte amarillo-anaranjada de las lesiones.

Si la infección es fuerte, en los estados iniciales, la superficie entera de la hoja puede estar manchada por áreas pequeñas, amarillo-anaranjadas, sobrepuestas de diferentes maneras. Aun cuando haya solamente pocas infecciones, éstas pueden expandirse si la hoja sobrevive suficiente tiempo, hasta que gran parte de la hoja muere. Cuando hay áreas grandes de la hoja infectadas por la enfermedad, las áreas adyacentes, no atacadas, también pueden secarse y morir, afectando con frecuencia la hoja entera. En tales casos, poco tiempo antes de que las hojas se sequen por completo y se vuelvan color marrón, y también en las que se caen por cualquier otra razón, los bordes de las lesiones frecuentemente están rodeados por una orilla verdosa, deslindándolas de las regiones amarillentas o marrones circundantes, no atacadas.

Aun cuando sólo haya unas pocas lesiones, la vida de la hoja a menudo se reduce mucho y puede caerse a edad temprana. Como consecuencia de esto y de la abscisión de hojas muy atacadas, un árbol atacado severamente puede perder gran parte de su follaje, lo que a su vez puede conducir a un paloteo ("die-back") más o menos pronunciado de sus ramas. Este efecto depende del clima reinante en ese momento, de la cosecha que produce el árbol y de la cantidad de sus reservas de carbohidratos. Si hubiera una reducción grande del crecimiento, gran parte de la cosecha quizás no podría madurar o los granos se tornarían más livianos o se volverían negros.

Según Morris (1879a), en Ceilán el primer ataque frecuentemente parecía ser el más fuerte, pero después los árboles producían hojas sanas y parecían recuperarse completamente. Sin embargo, unos pocos meses más tarde, los árboles volvían a ser atacados y el proceso se repetía hasta que el estado general resultaba seriamente afectado y su capacidad de producir nuevos crecimientos después de un ataque se reducía más y más cada vez. Los árboles se volvían más delgados, tenían un aspecto enfermo y se reducía seriamente su capacidad de producir madera nueva. Tales árboles estaban tan exhaustos que, aun cuando producían flores, había una falla parcial o total de la producción. Hoy día, el café se cultiva comúnmente en regiones donde la enfermedad es menos seria que en el caso de Ceilán y con poca frecuencia se ve un estado de agotamiento cada vez mayor.

Zimmermann reportó en 1904, que en Java, frutos de *Coffea liberica* pueden ser atacados a veces. Dio ilustraciones claras de haustorios que sin duda estaban localizados en el fruto y describió e ilustró, en colores, lesiones de color marrón claro y oscuro en los frutos, sobre los cuales se produjo una capa de esporas anaranjadas típicas de *Hemileia*. Cramer (1908) reportó observaciones similares hechas en frutos jóvenes de *C. liberica* en los jardines botánicos de Buitenzorg, que resultaron en la caída de los frutos. Más recientemente, Thirumalacher y Narasimhan (1947) también observaron fructificaciones del hongo en frutos de *C. liberica* en Bangalore; en Kenya, Firman (Coffee Research Station Ruiru 1968) observó frutos atacados de la selección de Tanganyika F-83 y de un híbrido Laurina x

Maragogipe. Se inocularon también frutos artificialmente y en algunos casos hubo esporulación como 11 días después, o sea un período más corto que en las hojas. Gopalkrishnan (1951) reportó la incidencia de fructificaciones en los haces de hojas y en pecíolos, aunque no está claro si fue una observación personal o no. Thirumalacher y Naransimhan han observado esporulación abundante en los cotiledones de plántulas nacidas espontáneamente y sugirieron que éstas podrían constituir una fuente de reinfección al final de la estación seca. Delacroix y Maublanc (1911) constataron que a veces aparecen lesiones en retoños jóvenes. Sin embargo, puede decirse que las fructificaciones del hongo en partes distintas del envés de las hojas constituyen una excepción.

## EL HONGO

El hongo fue descrito por primera vez por Berkeley en 1869 (véase página 17), con base en muestras enviadas desde Ceilán; algunas observaciones adicionales fueron hechas por Abbay en 1878. Ward publicó los resultados de sus investigaciones detalladas en Ceilán en 1882(b) y desde entonces ha habido pocas adiciones de importancia. La siguiente descripción se basa en varias fuentes, pero principalmente en Ward (1882b), Delacroix (1911) y Roger (1951).

El micelio se encuentra completamente dentro del mesofilo y está principalmente confinado a las áreas de la hoja, donde los tejidos están descoloridos y cloróticos. Consiste de hifas hialinas en abundancia, de aspecto tortuoso y frecuentemente ramificadas en forma muy irregular; el diámetro de las hifas es bastante uniforme y oscila entre 5 y 6  $\mu$ . Chevaugéon (1956), sin embargo, describe las hifas de muestras examinadas en la Costa de Marfil, como irregulares en diámetro, variando desde 2, 8 a 7  $\mu$ . Existen tabiques de vez en cuando, pero éstos están separados a veces por intervalos grandes, especialmente en las hifas que se extienden rápidamente. A veces el contenido de las hifas tiene una coloración anaranjada-rojiza. Las hifas crecen entre las células del mesofilo y penetran en ellas mediante ramificaciones cortas, filiformes, que terminan en expansiones ovales, reniformes o un poco irregulares, 7 a 8, 4 x 4, 5  $\mu$  (Chevaugéon 1956), que contienen citoplasma denso con uno o dos gránulos refringentes. Estas expansiones constituyen los haustorios y se presume que sirven como órganos que absorben los alimentos. Generalmente hay uno o dos haustorios en cada célula hospedante, pero a veces existen en número mayor. Estos haustorios se tifican fuertemente con azul de anilina y otros colorantes. El micelio es más abundante en el parénquima esponjoso de la hoja y en las especies y variedades más resistentes de café queda confinado a esta parte del mesofilo. En las variedades más susceptibles, el micelio tiende a penetrar al tejido de empalizada y hasta puede enviar haustorios a las células de la epidermis superior.

Cuando las células del hospedante son invadidas, los cloroplastos se tornan gradualmente amarillentos. El contenido de las células afectadas se contrae y coagula en forma de una masa, la que gradualmente se descolora y torna más y más marrón; esta descoloración también se extiende hasta cierto grado a las paredes celulares. A veces el citoplasma desaparece y es reemplazado primeramente por un líquido acuoso y posteriormente por aire (Delacroix 1911).

Las hifas forman masas entrelazadas de micelio, de apariencia coralina, en las cavidades subestomáticas. De estas masas un fascículo de filamentos finos (llamados "esterigmas" por algunos autores) crecen a través del poro del estoma. El fascículo se hace más grueso, pero raras veces rompe la epidermis en la región del estoma. Los filamentos divergen y se

expanden un poco al llegar afuera. Las ramificaciones que formarán las uredósporas\* están llenas de un citoplasma grisáceo, de granulación fina; al llegar al exterior de la hoja se expanden para formar un saco ovoide, o sea la espora joven. Sacos similares se forman por segmentación más abajo y de esta manera se forma un ramillete de esporas jóvenes. Se intercala un tabique en la base de cada espora, la que está unida por debajo del septo mediante un pedículo angosto o esterigma al filamento esporulante. Cuando la espora está madura se separa fácilmente del pedículo. Cada espora, al comienzo, representa un saco sencillo, liso y de pared delgada, relleno de un citoplasma finamente granulado, en el cual se observa con frecuencia un corpúsculo semejante a un núcleo. Luego la pared se coagula, se forman papilas en la cara de la pared orientada hacia afuera del grupo de esporas formado en cada fascículo de filamentos; luego aparece una coloración anaranjada. Cuando el fascículo se hace más viejo, los filamentos se adhieren fuertemente entre sí, formando una especie de pseudoparenquima (plecténquima). Las esporas se producen en el lado y el ápice del cuerpo compuesto de este modo, que se torna en una protuberancia ovalada, cubierta por sus lados de pedículos cortos y truncados, de los cuales ya se han caído las esporas. La formación del plecténquima puede extenderse hasta las hifas internas o sea subestomáticas, las que se aprecian, después de remover la epidermis de la hoja, como cuerpos redondeados, oscuros y globosos, fijados debajo del estoma. Algunos de los miembros exteriores del fascículo de filamentos quizás no produzcan esporas y se denominan pseudoparáfisis. Toda la masa pseudoparenquimatosa debajo y encima del estoma se llama corrientemente soro. El área foliar, sobre la cual el hongo fructifica, está de esta manera recubierta por un número elevado de soros individuales y no es correcto referirse al área entera de la hoja, en la cual tiene lugar la esporulación, como un solo soro, tal como lo han hecho algunos autores.

A los filamentos individuales de un soro se les ha llamado "hifas esporógenas". Thirumalacher y Narasimhan (1947) los llamaron "esporóforos". Consisten de dos o tres células, una más o menos isodiamétrica debajo del estoma, una célula termina elongada o claviforme, la que eventualmente puede llevar un número elevado de pedículos "esterigmas"; a veces existe una célula angosta y corta entre estas dos. Thirumalacher y Narasimhan han demostrado que todas estas células contienen dos núcleos; los de la célula terminal se dividen simultáneamente y los núcleos hijos de cada división simultánea pasan a las uredósporas.

Rajendren (1967), sin embargo, comprobó que las células del micelio en este estado, lo mismo que las de las hifas esporógenas, contienen cada una un solo núcleo diploide y que sólo en las primeras fases de la infección contienen dos núcleos haploides; la fusión de estos últimos ocurre probablemente algún tiempo antes de la iniciación de la formación de uredósporas. En las primeras fases de la formación de uredósporas él reportó que ocurre una división reductora (meiosis) y que se observaron parejas meióticas bivalentes típicas de cromosomas con quiasmas. Sin embargo, no sigue —como sería lo normal— una segunda división (mitosis), de modo que queda entonces, cada uredóspora con dos núcleos (haploides). Por no tener lugar la meiosis en otras royas durante la formación de uredósporas, sino solamente durante la formación de teleutósporas, Rajendren designó las uredósporas de la *Hemileia* "telioesporas uredinoides"; cada tubo germinal produce un "pseudopromicelio". Este investigador consideró que la segunda división, que normalmente sigue a la meiosis, se atrasa hasta que se ha formado el apresorio y éste contiene, como consecuencia, cuatro núcleos. Rajendren describió esto como la producción de "una clavija bifida" de infección, entrando en cada ramificación dos núcleos. Se considera que cada ramificación penetra en estoma separado. El clasifica un ciclo de vida que muestra el comportamiento de los núcleos de esta naturaleza como "tipo Kamati".

\* Las royas pueden formar varios tipos de esporas. Las que después de la germinación pueden infectar otra vez la misma especie hospedante, para producir el mismo estado del hongo, son conocidas como uredósporas.

La forma de las uredósporas maduras varía un poco, según la posibilidad en la cual se forman. Generalmente son angostas y triangular-redondeadas en un corte transversal. La pared más corta (que generalmente queda orientada hacia afuera del grupo) es convexa a través del ancho de la espora y también, en menor grado, a lo largo. Las dos paredes laterales, que normalmente están en contacto con aquellas de otras esporas del grupo son casi planas, con excepción del ápice y base de la espora, que son redondeadas. La forma es pues, muy similar a la de una nuez de Brasil o un gajo de naranja, pero más redondeada. A veces las uredósporas tienden a tener una forma piramidal. La parte más redondeada de la espora está densamente ornamentada con espinas pequeñas y erectas, 3 a 4  $\mu$  de largo, que tienden a ser más cortas y escasas hacia la parte lisa, aunque en la línea de demarcación existe una zona donde están más densamente apretadas. Las espinas son excrescencias de la gruesa capa exospórica. La naturaleza media ornamentada, media lisa de la espora es el detalle característico que condujo al nombre del género, hemi=medio, y leios = liso. La forma exacta y el espaciamiento de las espinas es bastante difícil de distinguir, aún cuando en el microscopio se use el máximo de luz. Existe una variación considerable en la manera en que diferentes autores las han descrito. Como la naturaleza exacta de la ornamentación de las esporas es de algún interés para entender cómo se comportan las esporas, a petición del autor el Dr. J. Hirst tomó en 1968 fotomicrografías, con el microscopio electrónico, de una muestra de esporas de Kenia, en la estación experimental de Rothamsted, mediante la técnica de replicación con carbono. Estas fotografías mostraron que las espinas son más cortas, más anchas y menos filosas de como generalmente se les describe; además, están más distanciadas. Se encontró que dichas espinas son cónicas, solamente 1 a  $\frac{1}{2}$   $\mu$  altas, con la misma dimensión a través de su base; las puntas son redondeadas. Su distanciamiento es de 1 a 4  $\mu$  de centro a centro (véase figura de la portada). Estos hechos están muy en desacuerdo con la mayoría de las ilustraciones publicadas, las que por lo general muestran las espinas mucho más elongadas, menos espaciadas y con ápices muy puntiagudos.

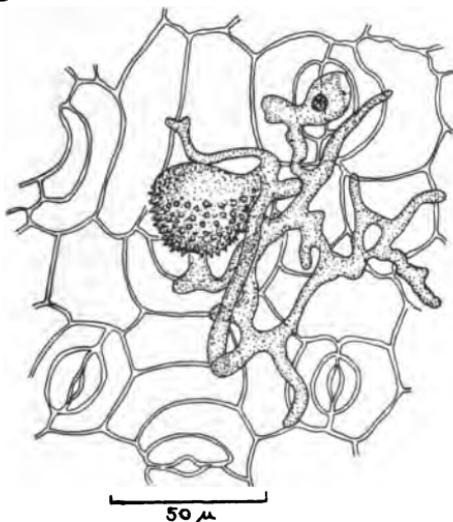
El contenido de las esporas es granular y generalmente anaranjado; a veces contiene gotitas aceitosas de color anaranjado-rojizo intenso, pero otras veces el contenido es gris lechoso. Las dimensiones de las esporas son 25 a 35 x 12 a 28  $\mu$  (larg. por ancho), con pequeñas diferencias entre las muestras. Por eso, Roger (1951) citó 28 a 37 x 18 a 21  $\mu$  para una muestra de Madagascar y 33,0 x 21,4 (28,6 a 38,1 x 19,0 a 23,1) y 31,1 x 20,1 (28,1 a 38,1 x 15,0 a 27,2)  $\mu$  para muestras de Tonquín y Annam, respectivamente; Chevaugéon (1956) dio valores de 26,7 x 18,4 (20,5 a 32,3 x 10,2 a 23,5)  $\mu$  para esporas recogidas en la Costa de Marfil.

Esporas nuevas se producen debajo de las ya formadas cuando no son perturbadas, formándose columnas irregulares de un ancho de varias esporas. Estas columnas están en contacto con otras producidas por fascículos vecinales, a veces con una, a veces con otra, de modo que se forma un retículo irregular de filamentos de esporas o para dar lugar a una costra esponjosa en la superficie de la lesión. Esta costra es muy inestable y una ligera agitación mecánica, tal como un toque suave de la hoja, haría que la estructura completa se desintegre en agregados de esporas de varios tamaños, que se desprenden de la hoja como una nube polvorienta (Rayner 1961a).

El número de uredósporas producidas es muy elevado. Ward contó 150.000 en una instancia en una sola lesión. El autor (Rayner 1961a), al golpear una lesión a intervalos de 2 a 3 semanas, logró liberar al aire un total de 366.100 esporas durante tres meses, desde el comienzo de la producción. Al final de este tiempo la lesión tenía un área de unos 272 mm<sup>2</sup> y 18 mm en diámetro. Alrededor de 50.000 esporas podían removerse adicionalmente mediante un lavado vigoroso al final de este período, dando un total de unas 416.000 esporas. La lesión bajo observación tenía una vida corta, pues una lesión puede permanecer activa hasta 5 meses. Por lo tanto, es de esperar que frecuentemente se produzca un número mucho mayor de esporas que en el caso estudiado.

Después de permanecer en el agua por algunas horas, las esporas se llenan de vacúolos esféricos de igual o desigual tamaño y de número variable. La germinación puede tener lugar en agua pura. En el envés de una hoja mojada, la germinación puede comenzar tan solamente en una hora. Generalmente hay en dos y a veces en cinco puntos equidistantes en que se forman poros germinales por el adelgazamiento del exosporio; entonces un tubo delicado de forma de dedo, con un ápice redondeado, sale por cada uno de los poros, con una ligera constricción en el punto de salida. El tubo es de diámetro uniforme de unas  $4 \mu$ . Por algún tiempo el tubo permanece sin ramificarse, pasando en él el contenido anaranjado y granuloso de la spora; con frecuencia se aprecia un movimiento citoplasmático. Es posible que aparezcan vacúolos y glóbulos oleosos. Después pueden formarse ramificaciones; algunas de éstas permanecen cortas, otras se extienden considerablemente, pero el crecimiento total que puede producirse es limitado. Eventualmente, si acaso alguna parte del tubo germinal ramificado hace contacto con un estoma, se forma un apresorio. Este consiste de una vesícula ovoide o piriforme, en forma de saco. Casi todo el contenido coloreado de la hifa pasa al interior del apresorio, el cual puede estar separado mediante un tabique. A veces, si una spora germina cerca de un estoma, la hifa puede crecer en el interior del estoma sin que se forme un apresorio. En el lado inferior del apresorio se forma una protuberancia penetrante, la cual crece en el interior de la cavidad subestomática a través del ostíolo.

En el haz foliar, o en un portaobjeto, el crecimiento de los tubos germinales es menos vigoroso, pero se extiende y ramifica más. Es posible que se forme en este caso un apresorio, que puede producir uno o más procesos y hasta se puede desarrollar un apresorio secundario. Eventualmente todo se muere sin haber ocurrido la penetración. Según Ward (1882b), cuando la germinación ocurre en el haz foliar, del cual se ha eliminado la epidermis, el tubo germinal crece en el interior del mesófilo. El autor ha notado que en hojas inoculadas en su envés, las fructificaciones frecuentemente ocurren predominantemente en los puntos donde las hojas han sido rayadas (para efectos de indicar en cuál lado ha sido hecha la inoculación), lo que sugiere que las heridas ayudan a la penetración.



**Figura 1.** *Uredospora germinando en el envés de una hoja de café, formando un apresorio sobre un estoma. La spora y la parte vieja del tubo germinal supuestamente fueron sostenidas originalmente por una gotita de agua, la que posteriormente desapareció.*

Una vez que la protuberancia penetrante ha llegado hasta la cavidad subestomática se produce un micelio ramificado. Las hifas son al principio muy delicadas, llenas de citoplasma finamente granulado, y un poco acortadas. Pronto se forman vacúolos, con una estructura más toscamente granulada; envían manojitos de ramificaciones cortas y gruesas hacia las células que limitan los espacios intercelulares; de uno a otro lugar salen hifas más rectas, de crecimiento más rápido, hacia diferentes direcciones. La ramificación es con frecuencia extremadamente regular. La fructificación comienza en el área donde comenzó la infección y la lesión se extiende centrifugamente desde este punto, formándose nuevos y recientes soros en el margen.

A veces hacia el final de la vida de un soro, y en consecuencia cerca del centro de una lesión vieja, se producen esporas de un segundo tipo, las teleutósporas o teliósporas. Estas son al principio similares a uredósporas jóvenes, pero se quedan más pequeñas y lisas, y toman una forma casi globosa. Este tipo de esporas tiene una forma bastante irregular cuando están completamente desarrolladas, pero generalmente tienden a ser esféricas, achatadas y hasta con forma de nabo, y tienen paredes gruesas. La parte central del extremo opuesto de una teleutóspora es un poco aplanado, de él sobresale frecuentemente una protuberancia redondeada. El contenido es granular y de un fuerte color anaranjado-rojizo. La teleutóspora está unida al soro mediante un pedículo corto; no hay poro germinal. Las esporas miden de 15 a 18  $\mu$  de longitud, incluyendo la protuberancia apical, y en su parte más ancha tienen un diámetro de 18 a 24  $\mu$  (Roger 1951). La germinación tiene lugar frecuentemente mientras la spora está todavía unida a su soporte, transformándose la protuberancia sobresaliente en un promicelio tubular, de seis a ocho veces el largo de la spora. El promicelio queda luego subdividido mediante tres, a veces cuatro tabiques transversales, para formar cuatro células casi iguales, recibiendo cada una de éstas parte del contenido anaranjado de la teleutóspora; por consiguiente, esta última se transforma en una cubierta vacía y transparente. Si se pone la teleutóspora a germinar debajo de un cubreobjeto en un portaobjeto, las células del promicelio pueden ser más elongadas y el promicelio encorvado y delicado; las células son aún más largas cuando germinan en sacarosa al 1 por ciento.

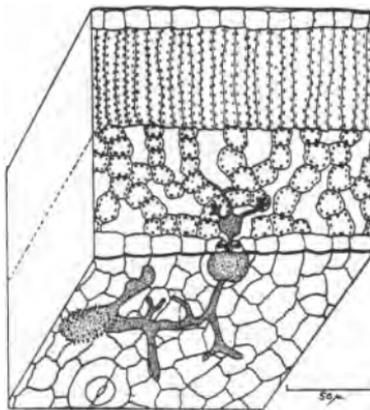


Figura 2. Una pequeña parte rectangular cortada de una hoja y vista como si estuviera inclinada hacia arriba para permitir ver tanto el frente (superficie cortada), como el envés. Se ilustra una uredóspora que germina y que forma un apresorio, del cual pasa una hifa de infección en el interior del mesofilo.

El promicelio queda subdividido por tabiques en menos de 18 horas desde el comienzo de la germinación, y completamente maduro entre 14 a 24 horas, cuando mide  $65 \times 80 \times 8$  a  $10 \mu$  si crece en su lugar original sobre la hoja, ó  $125 \times 195 \times 8$  a  $10 \mu$  en agua y  $105 \times 220 \times 8$  a  $9 \mu$  en sacarosa (Ragunathan 1924). Cada una de las células del promicelio emite normalmente un proceso sutil, el esterigma; el de la célula terminal representa una continuación de su ápice y los de las demás células se originan justamente por debajo del tabique. En cada ápice se produce un abultamiento pequeño, casi globular, la basidióspora; ésta recibe el contenido de la célula respectiva del promicelio. Los esterigmas son más largos cuando la germinación tiene lugar en agua o en sacarosa. Las basidiósporas se desprenden fácilmente de los esterigmas. Normalmente este tipo de esporas es de forma casi globular, pero pueden ser también de casi reniformes a globulares; están rellenas de citoplasma anaranjado-rojizo y granulado.

Thirumalacher y Narasimhan (1947) investigaron el comportamiento de los núcleos. Encontraron que se fusionan dos para formar un núcleo sencillo en la teleutóspora. Este núcleo se divide entonces dos veces, formándose cuatro núcleos hijos haploides, los que pasan, uno cada vez, en las cuatro basidiósporas. A veces éstas se tornan binucleadas después de otra división nuclear. Vishveshwara y Nag Raj (1960) han confirmado estos hechos; pero ellos observaron que las basidiósporas eran más frecuentemente binucleadas que uninucleadas y, a veces hasta plurinucleadas. La primera división del núcleo fusionado es una meiosis. Los autores citados observaron que frecuentemente ocurre una serie de anomalías durante el crecimiento del promicelio, tanto en la morfología como en las divisiones nucleares. Estas últimas fueron el resultado de divisiones nucleares tardías o la falta de sincronización de la formación de tabiques con la división, pudiéndose formar de tres a seis células por el promicelio. Algunas de estas células tienen en lugar de uno, dos o ningún núcleo. A veces se observaron células con un esterigma bifurcado o con dos. Basidiósporas binucleadas frecuentemente dieron lugar a tubos germinales binucleados. No se observó degeneración de núcleos como en algunas otras royas.

Las basidiósporas germinan prontamente en agua y a veces mientras están todavía unidas al promicelio. A veces se produce muy rápidamente un tubo largo, delicado, pero comúnmente se forma uno corto, obtuso, en forma de dedo, con un largo de unas cuatro veces el diámetro cónico. Este tipo de tubo luego se encoge y muere, ya sea que la germinación haya tenido lugar en un portaobjeto o en una hoja de café.

### **Presencia y Papel de las Teleutósporas**

Las teleutósporas se producen solamente en raras ocasiones y no se conocen las circunstancias que dan origen a su formación. Estas esporas las observó por primera vez Abbay (1878) en material de Sumatra, pero él no entendió su naturaleza y fue Ward (1882b) quien por primera vez indicó su semejanza con las teleutósporas de las royas de los cereales. Ward las observó primero en marzo de 1880 en Ceilán y después en varias otras ocasiones. Desde entonces se han reportado teleutósporas en varios países: Java (Wurth 1910), Mysore, India (Mayne 1936), y en el Congo ex-Belga (Hendrickx 1939). El autor ha observado estas esporas en Kenia y están reproducidas en el libro de texto de Roger (1951), de material recogido en Madagascar. Ragunathan (1924) efectuó una intensa búsqueda de teleutósporas en Peradeniya, Ceilán, desde mayo de 1921 hasta abril de 1922, y confirmó su presencia en todos los meses, exceptuando agosto y octubre de 1921 y abril de 1922. Su ausencia en agosto y abril se debió al desarrollo de follaje nuevo, mientras que en octubre hubo lluvias fuertes. Aunque Ragunathan hizo anotaciones cuidadosas sobre precipitación pluvial y condiciones climáticas, no logró relacionar la formación de teleutósporas con ningún factor climático en particular; sin embargo, hizo hincapié en que como las teleutósporas se producen cuando hay un ataque fuerte de enfermedad y aparecen en fructificaciones viejas

de uredósporas, los meses en que abundan estas últimas determinan entonces cuándo será más probable encontrar teleutósporas; él las encontró en todas las especies de *Coffea* examinadas: *C. arabica*, *C. liberica* y *C. canephora*. Mayne (1936) indicó que comúnmente aparecen en lesiones viejas en Mysore (India) durante la estación seca. Thirumalacher y Narasimhan (1947) encontraron abundancia de teleutósporas en la misma región, principalmente de octubre a marzo. Hendrickx (1939) las encontró en Mulungu (Distrito de Kivu en el Congo ex-Belga) en lesiones viejas, de octubre a noviembre.

El papel de estas teleutósporas, si existe del todo, es desconocido. En otras royas que las tienen, las teleutósporas representan un medio ambiente en el cual el hongo puede persistir durante un período frío o seco, pues son más resistentes al frío o a la desecación que las uredósporas. Las teleutósporas producen basidiósporas tan pronto comienzan condiciones más favorables, y estas últimas pueden infectar de nuevo al hospedante. Más frecuentemente no es la misma especie de hospedante la que es infectada, sino una que no tiene parentesco y pertenece a otra familia o aun a otra clase. En este hospedante "alterno" se forma otro tipo de esporas, las ecidiósporas. Estas, a su vez, no pueden reinfectar a la especie de hospedante sobre el cual fueron producidas sino solamente a aquél en que se producen teleutósporas y uredósporas. En algunas royas el estado de ecidios produce otro tipo de esporas, la picnóspora. Así un máximo de cinco tipos de esporas y dos distintos hospedantes pueden estar incluidos en el ciclo de vida. En muchas especies de royas, puede ser que no se produzca ninguna de las distintas formas de esporas y la alteración de hospedantes puede o no tener lugar. Por lo tanto es posible que las basidiósporas (o aun las teleutósporas) de *Hemileia vastatrix* pueden estar capacitadas para reinfectar cafetos, aunque es más probable que sólo infecten algunas especies de hospedantes de otro parentesco. Es muy poco probable que sólo otro miembro de la misma familia (rubiáceas) sea infectado. Todas estas posibilidades han sido investigadas hasta cierto grado.

Ward (1882b) no pudo infectar *Coffea arabica* con basidiósporas en germinación: tampoco pudo infectar una serie de otras plantas incluyendo especies pertenecientes a los géneros *Hemileia*, *Tabernaemontana* y *Pavetta*, en los cuales se han observado fructificaciones de ecidios. Ecidiósporas provenientes de estos géneros tampoco infectaron *Coffea*. Ward sugirió pruebas adicionales con *Aecidium flavidum* y *A. pavetae* en *Pavetta indica* y *P. angustifolia*, puesto que estos últimos están muy relacionados con *Coffea*. Sydow y Butler (1906) describieron un ecidiomicete, *Aecidium nobile* Syd., en hojas vivas de *Coffea arabica* en Mysore (India) y sugirieron que éste podría ser un estado de *Hemileia vastatrix*. Sin embargo, este hongo nunca se volvió a encontrar y según Thirumalacher y Narasimhan (1947) la investigación del espécimen del herbario reveló que el hospedante era *Pavetta indica* y no *Coffea arabica*.

Mayne (1936) también intentó, sin éxito, infectar hojas de café con teleutósporas en germinación (las que naturalmente produjeron basidiósporas). Vishveshwara y Nag Raj (1960) mencionaron investigaciones similares hechas por Pole-Evans (1908) y Gyde (1932), pero el autor no ha podido encontrar mención de éstas en los trabajos originales. Razafindramamba (1958) reportó que una especie de *Ocimum* (labiadas), que se encuentra silvestre alrededor de cafetos (en Madagascar), está frecuentemente muy infectada con un ecidiomicete; pero intentos de provocar una infección (de café mediante ecidiósporas) resultaron negativos. Gopalkrishnan (1951) intentó infectar cafetos con los siguientes ecidiomicetes que aparecen en los hospedantes que se encuentran alrededor de cafetales, pero sin éxito: *Aecidium eleagni-latifoliae* y *A. sp.*, en *Randia dumatorum*, *Vangueria spinosa*, *V. infaulta*, *Plectronia didyma*, *Pavetta indica*, *Dioscorea bulbifera*, *Tabernaemontana indica*, *Loranthus longiflorus*, *Strobilanthes dalhousianus*, *Selacia indica* y *Smilax* sp.

Como *Hemileia vastatrix* aparentemente se originó en África y probablemente en la región de Etiopía, sur de Sudán y Uganda, la búsqueda de un hospedante con ecidios tendría más oportunidades de éxito en África, especialmente en estas áreas. Según la ley de Tranzschel (ver entre otros Cummins 1969 y Tranzschel 1904) las teleutósporas de una especie microcíclica de un género simula el comportamiento del estado de ecidios de la especie macrocíclica de la cual se originó, y se encuentran en las plantas hospedantes con ecidios de la última. Como los hospedantes de las especies de *Hemileia* pueden agruparse en provenientes de rubiáceas y de orquidáceas, es posible que las últimas sean formas microcíclicas descendientes de padres macrocíclicos en rubiáceas; por lo tanto, si las últimas son realmente royas macrocíclicas no reconocidas, tendrían ecidios en las orquidáceas. Por eso debería emprenderse una búsqueda de hongos que producen ecidios en orquidáceas en África y sus ecidiósporas deberían inocularse en *Coffea* spp., para verificar si son los estados ecídicos de *Hemileia vastatrix*. Sería interesante descubrir un estado ecídico que aunque probablemente no sea de mucha importancia para la epidemiología de la enfermedad (el hongo está capacitado para persistir, de año en año, en el estado de uredóspora), la existencia de un estado ecídico significaría una mayor capacidad de producir razas nuevas y se podría entender mejor la genética de la formación de nuevas razas. D'Oliveira (1954) indicó que en Mozambique, *H. vastatrix* ataca *Coffea racemosa* silvestre y que ésta es una especie decidua. Después de un período de defoliación se produce un nuevo brote de follaje, el cual quedará infectado con la roya en un estado muy temprano. Si no existiera otro hospedante en el cual el estado urédico pudiera persistir, esto significaría que la reinfección se debe a ecidios producidos en algún hospedante ecídico hasta ahora desconocido. Por eso recomienda la búsqueda de tal hospedante en este territorio.

Las investigaciones de Vishveshwara y Nag Raj (1962) sobre el comportamiento de los núcleos en el promicelio y basidiósporas, mostraron que sí ocurren anomalías y esto quizás podría indicar que las basidiósporas son de naturaleza degenerada y no son funcionales, habiéndose omitido el estado ecídico del ciclo de vida. Sea como fuere, lo cierto es que el hongo persiste normalmente de una estación a otra en el estado urédico, pues aunque su incidencia puede variar mucho de acuerdo con la estación, por lo general se pueden encontrar unas pocas fructificaciones en todo tiempo. Cuando éstas desaparecen completamente del área, la enfermedad podría tardar un tiempo considerable antes de reinvasar el área.

## HONGOS EMPARENTADOS

El género *Hemileia* fue propuesto por Berkeley (1869) para la roya del café, la cual le fue remitida por el Dr. Thwaites desde Ceilán. Este investigador citó como sus características más notables para su diferenciación, el modo de la esporulación estomática y las uredósporas característicamente reniformes, con la mitad verrugosa y la otra mitad lisa. El diagnóstico fue el siguiente:

"*Hemileia*, Berk. & Broome. Soros un poco circinados, hipofilos, desnudos; agregados diferenciados, no articulados, flexuosos. Esporas algo reniformes, al principio lisas, después granulado-verrugosas por un lado, unidas oblicuamente en la base mediante un punto pequeño, papiliforme".

El diagnóstico más reciente es el de Cummins (1959):

"Espermatogonios y ecidios desconocidos. Uredios subepidermales en su origen, típicamente supraestomáticos, raras veces irrupentes; uredósporas nacen individuales en pedículos, en grupos sobre células basales; son típicamente asimétricas, con un lado plano o cóncavo y generalmente liso. Telios parecidos a los uredios de la especie; las telioósporas se

forman individualmente en pedículos, son unicelulares, generalmente más anchas, frecuentemente angulares o lobadas; de pared uniformemente delgada, poro germinal quizás no diferenciado, pared pálida; la germinación tiene lugar sin período de reposo; basidio externo”.

Géneros emparentados son: *Gerwasia*, *Zaghoulania* (incluye *Cystospora*) y *Blastospora*. Todos tienen soros parecidos, supraestomáticos, pero difieren debido a las uredósporas de forma simétrica. En *Gerwasia* sólo un filamento esporógeno pasa a través del estoma. Se han descrito más de 40 especies de *Hemileia*; pero el último estudio taxonómico de este género por Sydows (1912-15) identifica solamente a veintitrés. Todas son tropicales, mayormente de África o Asia; sólo de aproximadamente la mitad de éstas se han descrito las teleutósporas. En ningún caso se ha descubierto un estado ecídico. La mayoría de las especies de *Hemileia* atacan rubiáceas, cierto número de apocimáceas, unas pocas asclepiadáceas, oleáceas y orquidáceas; caparidáceas, euforbiáceas, araliáceas, verbenáceas, hipericáceas y dioscoreáceas son atacadas por una especie en cada caso (Gopalkrishnan 1951).

En la mayoría de los casos, las fructificaciones se forman en el envés del follaje del hospedante. Las diferencias morfológicas entre las especies descritas son frecuentemente muy pequeñas y podrían limitarse al tamaño de las esporas, o se refieren casi exclusivamente a diferencias entre hospedantes. Gopalkrishnan anotó:

“Frecuentemente lo que podría ser solamente un nuevo hallazgo para un área o una especie diferente de hospedante, se da como rango específico”. Después de ofrecer ejemplos, concluye: —“Estos incidentes indican que se ha dado un rango específico a lo que posiblemente sean razas fisiológicas, tal como se conocen en el caso de *H. vastatrix*”.

En tales circunstancias no sorprende que en el pasado existiera alguna confusión en relación a los límites específicos de *H. vastatrix*. Masee (1906) incluyó las formas en *Gardenia* y *Vangueria* en esta especie y sugirió que la aparición de *Hemileia* en *Vangueria infausta* y *V. latifolia* en Transvaal, África del Sur, constituiría una amenaza para la caicultura de esta área (Burt-Davy 1905). En pruebas de inoculación cruzada se encontró que formas del hongo de hospedantes de la familia de las rubiáceas, con excepción de *Coffea*, no atacaban al último género y viceversa. Pole-Evans (1908) encontró que *H. woodii* Kaler et Cooke en *Vangueria infausta* y *V. latifolia* y una especie en *Fadogia zeyheri* (*H. fadogiae* Syd.?) no atacaban *Coffea urabica*, como tampoco la roya del café atacaba *Vangueria* spp. Una comunicación en el Kew Bulletin (1913) indicó que la identificación por Hennings de una roya en *Coffea ibo* como *H. woodii* fue un error, siendo la especie *H. vastatrix*. Gyde (1932) obtuvo resultados similares en el caso de *Vangueria infausta*, *V. pygmaea* y *Gardenia* sp., aunque en la última hubo sólo un caso bastante dudoso de una inoculación cruzada con éxito aparente.

Ward (1881) reportó que esporas de *H. vastatrix* de *Coffea* germinan en, y penetran, las hojas de *Canthium campanulatum*, pero aparentemente no continuó sus observaciones por un período suficiente largo como para determinar si ocurría o no esporulación. También intentó infectar café con la roya que ataca *C. campanulatum* (*H. canthii*), pero sin éxito.

Thomas (1924) reportó los resultados de pruebas de inoculaciones cruzadas con royas que atacan *Canthium* sp., *Vangueria spinosa* y *Randia uliginosa* como “no concluyentes”. Thirumalacher y Narasimhan (1947) llevaron a cabo pruebas con especies de *Hemileia* en *Gardenia thunbergiae* (*H. gardeniae-thunbergiae*, Maubl. & Roger), *Randia uliginosa* (*H. thomasii* Thirumalacher & Narasimhan), *Vangueria spinosa* (*H. woodii* Kaler & Cooke), *Plectronia parviflora* y *P. rheedii* (*H. canthii* Berk & Br.). Ninguna de estas *Hemileias* infectaba *Coffea*. Resultados similares fueron obtenidos por Gopalkrishnan (1951) con varias especies de *Hemileia* en hospedantes de rubiáceas en los alrededores de haciendas de café en Mysore, India.

El Centro de Investigaciones de las Royas del Cafeto en Oeiras, Portugal, reportó (1965) que pruebas de inoculación cruzada, llevadas a cabo en este Centro, demostraron que ninguna roya que ataca *Coffea* puede atacar otros hospedantes de rubiáceas fuera de *Psilanthopsis kapakata* Hirsch, una planta que es considerada por algunos autores como una especie del género *Coffea* (*C. kapakata* Hirsch). Tampoco se encontró que ninguna de las royas de estos hospedantes atacara *Coffea*. Por eso las formas en rubiáceas, con excepción de *Coffea*, deben considerarse patológicamente distintas de las últimas, aunque está en debate si éstas debieran considerarse especies distintas o solamente "Formas especiales". Thirumalacher y Narasimhan constataron que mientras que las teleutósporas de *H. vastatrix*, *H. woodii*, *H. canthii* y *H. gardeniae-thunbergiae* son principalmente casi de globosas a esféricas, en *H. vastatrix* hay también abundancia de esporas con forma de nabo. Esta última forma nunca se encuentra en las otras especies, siendo algunas de las esporas crestadas llamadas falcadas, triangulares o triangulares-tridentadas. *H. gardeniae-thunbergiae* difiere de *H. vastatrix* porque la infección es de un tipo de avance difuso, apareciendo los soros al mismo tiempo por todo el envés de la hoja, o sea que no comienza como una lesión redonda, pequeña, que gradualmente aumenta de tamaño, tal como sucede en la última especie. Además, los filamentos esporógenos "esporóforos" son más largos y las esporas más pequeñas (26 a 30 x 18 a 24  $\mu$ ). *H. woodii* produce el mismo tipo de infección que *H. gardeniae-thunbergiae*. Los filamentos esporógenos son mucho más largos que en las otras especies (35 a 60  $\mu$ ). Después de envejecer las células del micelio en la cámara subestomática tienden a aumentar de tamaño, a redondearse y pueden transformarse en uredósporas. En *H. canthii* esta tendencia es muy marcada y ambas, uredósporas y teleutósporas pueden encontrarse. En vista de estas diferencias morfológicas y la limitación a distintos hospedantes. Thirumalacher y Narasimhan consideraron que los tres taxones constituyen especies distintas de *H. vastatrix*. Además ellos describieron como especie nueva *H. thomasii* que se encuentra en *Randia uliginosa*.

Debe hacerse hincapié en que varios autores han incluido bajo *H. vastatrix* taxones que se encuentran en otros hospedantes de rubiáceas; *H. canthii* fue incluida por Masee (1906), *H. gardeniae-thunbergiae* por Masee (idem), Sydow (1912-1915), Hendricks (1948) y Doidge (1926 y 1950), y *H. gardeniae-floridiae* por Sydow (1912-1915) y Yoshinaga (1913). Gopalkrishnan (1951) investigó la morfología de los soros que aparecen en este género y distinguió tres tipos:

1. El tipo subepidérmico, tipificado por *H. evansii* Syd. Fascículos de hifas forman una capa basal de células angulares en la cavidad subestomática. Esto empuja la epidermis hacia arriba, destruyendo las células oclusivas y algunas adyacentes. Los filamentos se ramifican y producen uredósporas.
2. El tipo supraestomático A, tipificado por *H. vastatrix*. Uno o más filamentos de hifas crecen a través del ostíolo y producen uredósporas fuera del hospedante; las células oclusivas no son destruidas. En *H. woodii* y *H. canthii* eventualmente células dentro de la cámara subestomática pueden hincharse y producir uredósporas dentro del hospedante.
3. El tipo supraestomático B, tipificado por *H. jasmii* K. & R. No existe una masa entrelazada de hifas desarrollada en el espacio subestomático como en los dos tipos anteriores. En su lugar crece desde el micelio intercelular en contacto con las células de hospedante una sola hifa (a veces más), hacia cada cavidad subestomática, donde forma una estructura bulbosa grande con un contenido denso que puede ser teñido intensamente. Esta estructura desarrolla un manojito de hifas verticales, que atraviesan el ostíolo y producen esporas en sus ápices; o se forman "células basales" especializadas, que llevan numerosas esporas. Además, los haustorios son en este grupo mucho más ramificados y llenan las células del hospedante completamente.

Algunas especies tienen soros que son intermedios entre los tipos subepidérmicos y supraestomático. También existen tres tipos de infecciones:

1. Un tipo que se extiende difusamente, en cuyo caso toda la hoja queda invadida por el micelio antes de que tenga lugar la esporulación. Como resultado, toda la superficie inferior queda entonces recubierta de soros individuales, lo que proporciona un aspecto polvoriento. Este tipo es típico, pero no confinado, al grupo supraestomático "B". Lo muestran *H. jasmini* K. & R., *H. hansfordii* Syd., *H. scheffleri* Syd., y *H. coffeicola* Maubl. & Roger.
2. Un tipo con pústulas compuestas de soros no coalescentes, comparativamente grandes, y de color ocre, es representado por *H. mysorensis* Thirum. & Gopal, y *H. evansii* Syd.
3. El tipo que presenta *H. vastatrix*, en el cual un número elevado de pústulas se juntan para formar una mancha circular que aumenta centrífugamente con la aparición de soros jóvenes en el borde y muriendo la parte central.

Solamente en el último tipo se aprecia mucho la infección en el haz foliar, haciéndose notoria un área amarilla marcada, la que corresponde al lugar de la infección.

Una segunda especie de *Hemileia* que ataca *Coffea*, o sea *H. coffeicola* Maublanc & Roger, fue reportada de Camerún, Africa Occidental, en 1934 y desde entonces se ha encontrado que existe más extensamente. Difiere de *H. vastatrix* en una serie de características. Las diferencias principales son: el soro se forma de manera diferente (véase anteriormente), los haustorios tienen forma distinta, las uredósporas son más cortas y más anchas con una mayor parte de su superficie recubierta de protuberancias y la infección es del tipo que se extiende difusamente. Es claramente distinta de *H. vastatrix*.

## HOSPEDANTES

Como algunos autores han incluido bajo *H. vastatrix* especies (o formas) que atacan géneros de rubiáceas distintas de *Coffea*, éstas han aparecido a veces en la lista de hospedantes que se han publicado para este hongo. Sin embargo, por no existir evidencia alguna de que estas especies atacan también *Coffea*, es conveniente, por lo menos para el presente trabajo, considerarlas como especies distintas.

Todas las especies cultivadas de café son atacadas en mayor o menor grado. Además, un número de especies silvestres de *Coffea* también es atacada en condiciones naturales. La lista siguiente se ha compilado mediante un estudio de la literatura. Se han incluido referencias sólo en relación a las especies menos estudiadas y solamente uno o dos cuando hay varias disponibles.

- C. abeokutae* Cramer. D'Oliveira 1954-57.
- C. arabica* L.
- C. bengalensis* Roxb. Trimen 1893, Petch y Bisby 1950.
- C. canephora* Pierre ex Froehner (incluye *C. robusta* Linden).
- C. congensis* Froehner. Sydow 1912-15.
- C. dewevrei*. De Wild (incluye *C. excelsa* A. Chev.) Tharin 1913.
- C. eugenioides* S. Moore. Hansford 1937.
- C. excelsa* A. Chev (incluido por algunos autores bajo *C. dewevrei* De Wild). Sydow 1912-15. Hansford 1937.
- C. ibo* Froehner. Sydow 1912-15.

- C. laurentii* De Wild (sin *C. canephora* Pierre ex-Frohner) Hendricks 1948.  
*C. laurina* Hort. (= ? *C. arabica* x *C. mauritiana* Lamark). Sydow 1912-15.  
*C. liberica* Bull. ex-Hiern.  
*C. madurensis* Cramer 1908.  
*C. myrtifolia* Hendricks 1948.  
*C. racemosa* Lour. D'Oliveira 1954-57.  
*C. robusta* Linden (incluido bajo *C. canephora* Pierre ex-Broehner).  
*C. stenophylla* G. Don. Sidow 1912-15, D'Oliveira 1954-57.  
*C. travancorensis* Wight. et Arn. Sydow 1912-15. Narasimhaswamy *et al* 1963 (pero pareció ser una raza a la cual *C. arabica* no era susceptible).  
*C. wightiana* Wall. Narasimhaswamy *et al* 1963 (raza I de D'Oliveira).

El Centro de Investigaciones de la Roya del Cafeto en Oeiras (Portugal) ha probado la resistencia de un número considerable de especies a inoculaciones artificiales bajo condiciones de invernadero. Sus resultados se resumen a continuación de acuerdo con el Informe de Progreso (Coffee Rust Research Center, 1965). La susceptibilidad a una serie de razas fisiológicas frecuentemente se probó en más de una planta de la misma especie, pero de diferentes variedades u orígenes:

- C. abeokutae* Cramer. Se encontró que existen tantos clones susceptibles como inmunes.  
*C. arabica* L. Todos los clones mostraron susceptibilidad a ciertas razas.  
*C. canephora* Pierre ex Froehner. Se encontró tanto clones susceptibles como inmunes.  
*C. congensis* Froehner. Incluyó clones susceptibles como inmunes.  
*C. dewevrei* De Wild (incluye *C. excelsa* A. Chev.). Incluyó clones inmunes como susceptibles.  
*C. eugenioides* S. Moore. Comprendió clones inmunes y susceptibles.  
*C. excelsa* A. Chev. Véase bajo *C. dewevrei*.  
*C. kivuensis* Lebrun. Clones susceptibles y resistentes.  
*C. liberica* Hiern. Algunos clones variadamente susceptibles a diferentes razas y algunos fueron inmunes.  
*C. racemosa* Lour. Susceptible a todas las razas.  
*C. robusta* Linden. Véase bajo *C. canephora*.  
 Narasimhaswamy *et al.* (1963) encontraron que *C. bengalensis*, *C. travancorensis* y *C. wightiana* son susceptibles a las razas I y VIII de D'Oliveira.

Como puede apreciarse en estas listas, las principales especies cultivadas de café han sido reportadas todas como susceptibles de ataque en el campo, pero que existen al mismo tiempo en todas, menos en *C. arabica*, clones resistentes al ataque de todas las razas del hongo que tenía a su disposición en ese momento D'Oliveira. A pesar de que todas las especies pueden ser infectadas en el campo, la severidad del ataque varía considerablemente. Es bien sabido que *Coffea arabica* sufre mucho más que las otras especies, aunque a grandes alturas esta especie sufre muy poco. Con un descenso de altura y un aumento de la humedad atmosférica el ataque se hace más y más severo, hasta que al faltar medidas de control el árbol apenas puede sobrevivir y difícilmente dar cosecha. Desde hace tiempo se ha observado que bajo condiciones en que *Coffea arabica* es muy atacado, *C. liberica*, *C. dewevrei* y los Robustas, aunque frecuentemente contraen la enfermedad, son afectados mucho menos seriamente. Según David (1928) en las Filipinas *C. arabica* sufrió muy severamente, *C. liberica* mucho menos, mientras que *C. canephora* se mantuvo intermedio. En Uganda el café Robusta sufre mucho menos cuando es atacado por la roya que el arábigo, hasta el punto de que actualmente *C. arabica* sólo se cultiva en pocas localidades, donde el ataque de la enfermedad es menos severo. Snowden (1922) reportó que algunas variedades de café Robusta son considerablemente afectadas por la enfermedad. *Coffea congensis* var. *challottii* mostró una resistencia apreciable. Tanto *C. liberica* como *C. excelsa* fueron muy resistentes. En Coorg, India del Sur, Thomas (1929) anotó que mientras que la forma de *C. arabica* comúnmente cultivada ahí fue muy susceptible, el café Robusta fue casi inmune y el café

Liberica muy resistente. Venkatarayan (1946) señaló *C. liberica* como menos severamente atacado que café Robusta y *C. congensis* como resistente. En Java, en Buitenzorg, Cramer (1908) reportó que aunque *C. arabica* era atacado muy severamente, *C. liberica* sufría mucho menos. Sin embargo, existía una variación considerable, siendo algunos árboles de *C. liberica* tan severamente atacados que estaban prácticamente defoliados. El Café Robusta era atacado con regularidad, pero parecía no sufrir.

*C. abeokutae* estaba casi libre de la roya y árboles adyacentes a los cafetos severamente atacados de tipo Libérica crecieron sin la enfermedad. *C. stenophylla* también estaba casi libre de la roya y *C. congensis* completamente. *C. excelsa* era severamente atacada, igual que *C. bengalensis* y *C. madurensis*.

## RESUMEN HISTORICO

La historia del ataque de la roya del café en Ceilán en 1869 constituye una de las páginas más importantes y significativas de la historia, tanto de la patología vegetal como de la agricultura tropical en general. Mucho se ha escrito al respecto, pero indudablemente la exposición de Large en su libro "The Advance of the Fungi" es una de las más amenas de leer y el autor reconoce con agradecimiento esta fuente de información.

El café había sido introducido en Ceilán por los árabes en el siglo trece y nuevamente por los portugueses poco antes de 1600. Los holandeses comenzaron cultivos serios de esta planta alrededor de 1658. En 1690 las plantaciones prosperaron y con el tiempo Ceilán se convirtió en el mayor productor del mundo.

No existe ningún registro confiable de ataques de *Hemileia vastatrix* antes del año 1869, aunque se había recolectado intensivamente la flora fungosa de Ceilán y se habían anotado más de mil especies. En mayo de este año se observó una roya (Abbey 1878, Morris 1879a) en unos pocos árboles de una hacienda en Madulsima, un distrito cafetalero recientemente abierto en la esquina sureste de la zona montañosa de Ceilán, lindando con terreno de bajura. En julio fueron atacados de dos a tres acres.

John Ferguson en "Uva revisited", descripción de la inauguración de la provincia de Uva, informó por primera vez del brote de roya, con base en una conversación larga con Donald Reid, quien era entonces supervisor de la hacienda de Galoola, propiedad de Keith MacLennan:

"Fue aquí en Galoola donde a comienzos de 1869 Reid notó por primera vez las hojas amarillentas y polvorientas en su café. Envié algunas de esas hojas en una carta al Sr. MacLennan, pidiendo su opinión sobre lo que le parecía un enemigo nuevo y problemático. Las hojas fueron enviadas al Sr. Thwaites (q.d.D.g.) de Peradeniya, quien de inmediato señaló que positivamente se trataba de un enemigo peligroso — un hongo nuevo, el cual, si se descuidaba se extendería con seguridad a todo el café del país, y sugirió medidas rápidas como recolecta y quema de todas las hojas afectadas. Estas instrucciones se siguieron en Galoola durante algunas semanas, hasta que el Sr. Reid informó a su propietario que a menos que estuviera dispuesto a duplicar el grupo de peones y mantener sus árboles permanentemente despojados de hojas, sería inútil el tratar de mantener al enemigo bajo control".

La infección se extendió con notoria velocidad a otros distritos, atacando árboles jóvenes y viejos por igual, hasta que en 1873 ya casi no existía una hacienda libre de la enfermedad. Si se puede confiar en las observaciones de un caficultor, G. F. Halliley (1883), la enfermedad ya estaba presente poco antes de 1869; indicó haberla visto en una hacienda cerca de Gampola, poco antes de la Navidad de (1963), y nuevamente en la hacienda de Gelgodde en 1866, cuando ocurrió un ataque relativamente severo, pero del cual el café se recuperó rápidamente. El no volvió a notarla hasta agosto de 1869, cuando se presentó la enfermedad en unos cafetos abandonados en la hacienda Hope. Al principio se creía que era solamente una enfermedad pasajera debido a alguna peculiaridad del clima y esta creencia fue respaldada por su desaparición hacia el comienzo del monzón lluvioso; pero reapareció al iniciarse otra vez el tiempo seco. En algunos distritos todos los vestigios desaparecieron a veces y la defoliación que había causado fue prontamente compensada por un vigoroso follaje nuevo. Pero a su debido tiempo regresaría la roya y, al continuar los ataques, los árboles se volvieron más y más débiles, haciéndose la subsiguiente producción de follaje nuevo menos y menos vigoroso; comenzó el paloteo y las cosechas se volvieron más y más pobres. El tratamiento con abonos sirvió para favorecer la producción de follaje nuevo, pero después de varios ataques su efecto se hizo menos y menos notorio.

El Dr. Thwaites, quien era director del Jardín Botánico Real en Peradeniya, Ceilán, envió material de este hongo al Reverendo M. J. Berkeley, un micólogo taxónomo de renombre, quien estaba bien versado sobre los hongos de Ceilán, quien lo reportó como algo bastante nuevo, a tal grado que hasta el género le fue desconocido, habiendo creado uno nuevo para acomodarlo. En noviembre de 1869 él publicó una descripción del hongo en "The Gardner's Chronicle" junto con ilustraciones por el Sr. Broome, La descripción es la siguiente:

"*Hemileia vastatrix* Berk y Br., forma manchitas pequeñas blanquecinas y orbiculares en el envés de la hoja que consisten en ramilletes diminutos de hilos flexuosos, llevando en sus extremos una sola espora, casi reniforme, fijada oblicuamente en su base; por afuera la espora es áspera debido a papilas verrugosas, bastante lisa por el lado más cercano a los agregados. La parte superior de la hoja, sobre las manchas, parece como quemada."

Su descripción del nuevo género ya ha sido reproducida anteriormente (véase p. 11); él pensaba que era intermedio con respecto a su posición entre los mohos y los mildeus. Refiriéndose al micelio dentro del tejido foliar, él creía que la enfermedad sería difícil de controlar y sugirió espolvoreamientos con azufre o aspersiones con soluciones azufradas, tal como se usaban en esos tiempos en los jardines de lúpulo contra el mildeu.

Al principio se prestó muy poca atención a la enfermedad, y los caficultores creían que debido a su desaparición periódica, era solamente una visita pasajera que podría desaparecer tan misteriosamente como había llegado. Sin embargo, gradualmente se hizo obvio que el promedio del rendimiento decrecería. Abbay (1878) presentó promedios trianuales, lo que demostraban que la cosecha decrecía marcadamente:

1866-68	.....	4,28 cwt/acre (537 kg/ha)
1869-71	.....	4,54 cwt/acre (570 kg/ha)
1872-74	.....	2,93 cwt/acre (368 kg/ha)
1875-77	.....	2,98 cwt/acre (374 kg/ha)

La pérdida anual fue estimada en 2.000.000.

En 1869-70, antes de generalizarse la roya, se exportaron 1.009.206 cwt (aproximadamente 513.000 toneladas métricas) de café, mientras que en 1876-77, cuando unas 52.000 acres (21.000 ha) adicionales de café comenzaban a dar cosecha, sólo 797.763 cwt (aproximadamente 405.000 toneladas métricas) fueron exportadas (Morris 1879a).

La primera investigación científica de la enfermedad la llevó a cabo el Reverendo R. Abbay durante su residencia de varios años en Ceilán y el Dr. Thwaites también efectuó algunas investigaciones en esta época. Thwaites pensó primeramente (Morris 1879a) que el hongo estaba presente dentro del tejido hospedante en forma difusa y sugirió que la materia infecciosa era absorbida por las raíces de los cafetos y luego pasaba a través de la planta hasta llegar a las hojas. Esta idea la concibió al observar que un árbol defoliado y espolvoreado con azufre y cal, producía nuevas hojas que prontamente mostraban síntomas de la roya (Thwaites 1874). Sin embargo, experimentos hechos durante los años 1873 y 1874 por Thwaites y Abbay le indujeron a abandonar este punto de vista. Ellos encontraron que masas de esporas, cuando se cultivan sobre carbón vegetal mantenido constantemente húmedo, daban como resultado filamentos ramificados que producían cadenas de esporas secundarias que se asemejaban a las de *Aspergillus*. Esta fue una de las primeras ocasiones para la observación errónea, seguida por muchas otras, que oscurecieron la verdadera naturaleza de la enfermedad y aún hoy día tenemos que desear algo de esto. Los filamentos que ellos observaron, en su mayor parte debieron haber pertenecido a algún hongo de contaminación, probablemente a un moho que produjo sus esporas en cadenas, pero que no tenía nada que ver con la roya.

Abbay publicó sus resultados en 1879. Evidentemente él estuvo fuertemente influenciado por los trabajos nuevos sobre mildews, especialmente sobre *Phytophthora infestans* que causa el tizón de la papa. Por esa razón él interpretó las uredósporas de la roya del café como "esporangios" que contenían las esporas en su interior. Estas "esporas" eran probablemente los glóbulos aceitosos dentro de las uredósporas, que salen cuando se rompen las paredes de las esporas mediante presión sobre el cubreobjeto, bajo el cual fueron colocadas para su observación. Él aun observó germinación de sus "esporas" muy probablemente otra vez debido a una confusión con el crecimiento del hongo que produjo la contaminación. Pero él indicó que a veces germinaron *in situ* y esto podría haber sido una verdadera germinación. Él encontró que la cavidad subestomática contenía un cuerpo oscuro, redondeado, del cual un crecimiento delgado pasaba por el estoma para producir esporas sobre la superficie exterior de la hoja; aparentemente él no podría discernir su estructura, aunque observó hilos de micelio irradiando de él hacia el interior de la hoja. El "cuerpo oscuro" de Abbay probablemente era la parte basal del soro.

Tanto Abbay como Thiselton Dyer, quien era director de los jardines botánicos reales de Kew en esta época, consideraron la enfermedad como muy seria, probablemente conduciendo hacia el fin de la caficultura en Ceilán. Esta idea fue confirmada con sorprendente prontitud por el curso de los eventos, aunque fue muy impopular entre los caficultores de Ceilán en esa época. Tan tarde como 1878 la Cámara de Comercio protestó vigorosamente contra esta opinión (Alexander 1878).

La enfermedad fue encontrada en la India por primera vez un poco más tarde en el mismo año en que fue descubierta en Ceilán. En 1876 apareció en Sumatra y Java, en 1878 en Natal, Africa del Sur, y en 1879 en las Islas Fidji. Cada vez se tornó más seria y el Gobierno de Ceilán, muy inquieto por esta tendencia, instaló una comisión de investigación en 1879 y apeló a los jardines botánicos reales de Kew para que investigadores entrenados estudiaran la enfermedad. Era demasiado tarde, y los investigadores llegaron justamente a tiempo para asistir *post mortem* de la caficultura, la principal industria de la Isla. David Morris llegó primeramente, pero desafortunadamente fue despistado por los trabajos anteriores de Abbay y Thwaites. Él examinó la superficie de cafetos y encontró que había hilos de micelio en todas partes. Habiendo observado que los hilos similares tenían su origen en masas de esporas, mantenidas húmedas, sobre la superficie foliar, él se imaginó que representaban una fase vegetativa del hongo que se extendió ampliamente sobre la superficie de la planta. Morris concluyó que este retículo crecía encima de los árboles durante el tiempo caliente y húmedo de las lluvias del monzón, obteniendo los nutrimentos al enviar hifas a través de los estomas al interior del mesofilo. Al comenzar la estación seca y adversa, se imaginó que este

evento inducía a la fructificación del hongo, siendo las esporas (o esporangios como Morris las llamó) producidas en los lugares en que el micelio había penetrado la hoja. Como él consideró que este micelio se mantenía completamente superficial durante diciembre y los primeros meses del año, insistió que ésta era la época para aplicar tratamientos químicos. El siguió la sugerencia de Berkeley y experimentó con espolvoramientos con una parte de azufre sublimado y dos de cal. Al observar el retículo del micelio después del tratamiento con el polvo, se alegró verlo quebrantado, desintegrado y muriéndose. Estos aspectos están detalladamente ilustrados en un artículo de Thiselton Dyer (1880). Pruebas del tratamiento de Morris en diversas haciendas parecieron proporcionar un control útil de la enfermedad. Morris continuó abogando fuertemente por su uso hasta su salida de Ceilán, después de ser nombrado director de los jardines botánicos de Jamaica. Su salida en julio de 1879 provocó una ola de protesta entre los caficultores, que le alabaron mucho por cuanto el consenso general era que él había encontrado la curación de la enfermedad y ellos querían que él continuara sus investigaciones. Trabajos posteriores no confirmaron sus resultados en cuanto que el azufre provee un buen control aunque podía tener algún efecto, especialmente como en su caso, él había escogido, como resultado de un razonamiento erróneo, una época para la aplicación que investigaciones posteriores comprobaron que era particularmente propicia.

Morris (1879d) editó una compilación de reportes y cartas, las que aparecieron en el "Ceylon Observer", dando a la obra el título de "The campaign of 1879 against coffee leaf disease" (La campaña del año 1879 contra la enfermedad foliar del café), con un lugar destacado para el tratamiento de azufre cal. El también escribió un libro "The coffee leaf disease of Ceylon and Southern India" (La enfermedad foliar del café en Ceilán e India del Sur), del cual existe una copia en la biblioteca del Instituto Micológico del Commonwealth, pero que según Stevenson y Beam (1953) nunca fue realmente publicado. Como el libro contiene numerosas correcciones a mano, podría constituir una copia encuadrada de las pruebas de impresión y posiblemente fue retirado de la publicación debido a los resultados posteriores de Ward, radicalmente diferentes.

Morris fue reemplazado al comienzo de 1880 por Marshall Ward, quien era entonces un hombre joven, llegado directamente de sus estudios en Cambridge (Inglaterra), donde prestó especial atención a los hongos. En Ceilán él estudió las esporas que fueron atrapadas sobre portaobjetos suspendidos en los cafetos, encontrando una variación entre estas esporas y también en las de *Hemileia vastatrix*. Sin embargo, al germinar, las esporas de los otros hongos producían el mismo tipo de retículo micelial que Morris había observado, pero Ward concluyó que no tenía nada que ver con las esporas de la roya. Él observó la germinación de éstas cuando se las colocó sobre hojas de café y verificó que el tubo germinal producido creció hacia y a través de las estomas. El infectó hojas de café mediante colocación de algunas esporas en una gota de agua en el envés de la hoja de café. Además colocó sobre la superficie foliar un pedazo de papel absorbente humedecido, con una perforación en su centro, de tal manera que la gota de agua quedaba en el centro del hueco; lo cubrió todo con un anillo de vidrio tapado con un cubreobjeto. El papel absorbente se mantenía húmedo mediante un pequeño chorrito de agua de un sifón que atravesaba la parte del papel que sobresalía del anillo de vidrio. De esta manera él demostró claramente que la producción de esporas tenía lugar solamente donde él había inoculado la hoja; él seguía el crecimiento del micelio en el interior de la hoja mediante cortes. La única parte del ciclo vital que se desarrolló externamente, fue el tubo germinal relativamente corto. Además Ward siguió el desarrollo de la enfermedad en el campo y mostró que concordaba con lo que él había encontrado en el laboratorio. Durante enero a marzo había tiempo seco y caliente y sólo pocas lesiones de roya se apreciaban. En abril comenzó la estación lluviosa y algunas lesiones aparecieron aquí y allá, principalmente en las hojas viejas. Con la continuación de las lluvias se produjeron lesiones jóvenes, aumentando su número al pasar los meses, hasta alcanzar un valor máximo en julio; en agosto tuvo lugar una defoliación fuerte debido al ataque. Esto explicó por qué la enfermedad llegaba a su desenvolvimiento máximo al final del período lluvioso. Ward investigó muchos aspectos de la biología de *Hemileia vastatrix* y sus estudios

meticulosos se han convertido en clásicos en las investigaciones en patología vegetal; muchas de sus conclusiones han resistido la prueba del tiempo. El descubrió la teleutóspora y descubrió su germinación y la producción de basidiósporas, pero no logró reinfectar café con estas últimas. De sus estudios de atrapar esporas con portaobjetos recubiertos de vaselina, él concluyó que la dispersión de las esporas era mediante el aire, una opinión que sólo recientemente fue seriamente puesta en duda. Sus conceptos sin embargo, eran aparentemente respaldados por el efecto aparente del viento, siendo la enfermedad menos severa en lugares donde los cafetos estaban protegidos de los vientos. Esto le indujo a sugerir la siembra de rompevientos como una medida de mejoramiento. Con respecto al problema de la resistencia, él encontró que podía infectar todos los clones y especies de café que le eran accesibles. Ward concluyó que éstas no varían en resistencia, un concepto erróneo, al cual hacen llegar los estudios de laboratorio a los investigadores aún hoy día. Afortunadamente Ward estaba errado con respecto a este punto, ya que la mayor resistencia de los cafés Robusta, Libérica, y otros, ha permitido la continuación de la producción de café en áreas de baja altura y húmedas, donde el *Coffea arabica* hubiera sido muy atacado por la roya.

Ward no consideró que un abonamiento tuviera efecto directo sobre la enfermedad, sino que simplemente estimulaba al árbol para producir follaje nuevo y así balancear hasta cierto punto el daño de la enfermedad. Este concepto debían haberlo tenido en mente muchos, antes de confiar en tratamientos con abono.

Igual que investigadores anteriores, Ward pensó que las hojas caídas, cubiertas de esporas, constituían una fuente de infección, puesto que el viento soplaba las esporas de su superficie a los árboles; él aconsejó la recolección de estas hojas y su destrucción mediante fuego o entierro. Tal consejo ha sido repetido durante toda la larga historia de la enfermedad, y a veces se ofrece todavía, aún hoy día, sin que exista un respaldo válido de observaciones efectuadas para apoyar su eficacia. Aún en la época de Ward, los agricultores señalaban frecuentemente lo impráctico de esa operación, y muchas veces la criticaron bastante.

Ward meditó sobre las posibilidades de controlar la enfermedad mediante agentes químicos. Sus investigaciones pusieron de manifiesto que no podía compartir el optimismo de Morris con respecto a la eficiencia de los espolvoramientos con azufre y cal, puesto que, contrariamente al concepto de Morris, el hongo vive fuera de la hoja un tiempo demasiado corto para que este método tenga bastante efecto. Él señaló que el fungicida debiera encontrarse ya sobre las hojas antes de que las esporas germinaran, pues solamente en el período corto entre germinación y penetración era el hongo vulnerable al ataque químico. De este modo él estableció los requisitos para la atomización protectora con fungicidas. No fue sino hasta que Millardet descubrió el caldo bordelés algunos años más tarde, que se tuvo al alcance para este fin un material satisfactorio. Aunque Ward hubiera sabido de la mezcla de Bordeaux, es poco probable que hubiera cambiado mucho la historia de la caficultura en Ceilán. Estudios posteriores han demostrado que el clima en esta isla era especialmente favorable al ataque de la enfermedad. Por esta razón las atomizaciones con fungicida habrían tenido que repetirse con demasiada frecuencia y continuadas demasiado tiempo a través del año, para que fueran eficientes.

Aunque los estudios de Ward fueron muy apreciados por quienes eran capaces de entenderlos, no parece que él fuera muy popular entre los caficultores, que lo consideraron frecuentemente como demasiado académico en sus métodos y sin suficiente interés en encontrar cura al mal. Quizás inspirado por esta actitud y antes de marcharse en 1882, después de tres años de investigaciones, él llevó a cabo algunas pruebas de campo sobre el uso del polvo compuesto de azufre y cal, del cual Morris había informado tan entusiastamente con anterioridad. La técnica de la experimentación en el campo ni siquiera había sido considerada en estos días, y realmente sólo unos 50 años más tarde se dispuso de técnicas satisfactorias. Por esa razón, los métodos de Ward dejaron mucho que desear y no se

entendió completamente la variabilidad del ataque de la roya. La técnica de muestreo y de estimar la enfermedad también era completamente desconocida. Por esa razón no existía un método adecuado de medir los efectos de los tratamientos. Parcelas grandes de café fueron tratadas a la vez, lo que hizo factible comparar a lo sumo una parcela de cafetos tratados con otra adyacente, no tratada, parcela que podría haber sido diferente en otros aspectos además del de tratamiento. Frecuentemente sólo un área distinta, en alguna distancia, o aun café en otra hacienda, estaba disponible para fines de comparación. Ward concluyó de sus pruebas, que el ataque de la roya era a veces reducido por el tratamiento, pero el efecto no era lo suficientemente grande como para considerarlo de valor práctico.

Los caficultores también criticaron su concepto de que todos los cafetos estaban igualmente predispuestos a la enfermedad. Ellos pensaban que esto no estaba de acuerdo con la experiencia de campo, que mostraba que existía una variación considerable en el grado del ataque, aun entre árboles individuales en el mismo campo. Para los caficultores la enfermedad era algo bastante misterioso y debida a factores desconocidos del ambiente o a métodos de cultivo de la planta. La roya no era la causa de la enfermedad, sino su resultado; la causa estaba escondida bien adentro de la planta y estaba relacionada con la composición de la savia, la que podía ser modificada por el tipo de suelo, los abonos aplicados y la manera de cultivar el suelo, el método de poda y muchos otros factores. La pregunta era cómo modificar estos factores para corregir la condición de la enfermedad, lo que era necesario descubrir para poder curar la enfermedad. Por eso se puso mucho énfasis en el abonamiento y la poda. Una casa comercial hasta puso en el mercado un fertilizante anti-vastatrix.

Las páginas del "Tropical Agriculturist" entre los años 1880 y 1886 están llenas de teorías sobre las razones del ataque de la enfermedad y de pretensiones de haber hallado remedios milagrosos. A pesar de los cuidadosos estudios de Ward, muchos aficionados expresaron teorías sobre la naturaleza de la enfermedad. Dos observadores, notando la presencia de larvas de una mosquilla (*Cedidomyiidae*) entre las esporas, concluyeron que el problema no se debía del todo al hongo sino al insecto, el cual, así pensaron ellos, se alimentaba de la hoja. El señor Oliver W. Jones, un superintendente asistente de la escuela de medicina en Dindigul, Madras (India) al no encontrar ni núcleos en las esporas ni órganos sexuales, argumentó que no podían ser "esporidios reproductores". Como él vio excreciones anaranjadas parecidas, producidas por las larvas, consideró que lo que se había llamado esporas eran simplemente excrementos y que las larvas se alimentaban de las hojas, lo que constituía la causa del daño. Independientemente un caficultor en Uva, Ceilán, llegó en 1885 a conclusiones similares, introduciendo sus argumentos en el comentario crítico siguiente:

"De que el gusano o larva es producido de zoósporas no cabe duda alguna. Por eso la pregunta es entonces: ¿qué relación tienen las zoósporas vivientes o germinales, huevos o desoves, con las esporas del supuesto hongo? Pues uno no existe sin el otro, y sólo después de que la larva se ha desarrollado las hojas cambian su color, ennegrecen y mueren".

Este caficultor describió la forma en que las larvas empujan su probóscide muy profundamente al interior del mesofilo. Rastreo su desarrollo hasta una mosquilla (quimónido) adulta, la que según él perforó las hojas en el punto de la inserción de los nervios secundarios principales con el nervio central, evidentemente confundiendo los domacios que existen en este punto, como si fueran perforaciones producidas por la mosquilla. Se imaginó que los insectos entraban en los tejidos de la hoja a través de estos huecos, haciendo túneles debajo de la superficie, consideró las esporas de la roya como "espermatozoides" o "espermogonios" de los insectos machos, que habían emergido de la hoja a través de los poros, depositando luego la hembra sus huevos entre ellos, abriéndolos para inducir la fertilización.

Otra teoría fantástica fue la de "apogestación", propuesta por A. Stephen Wilson de Aberdeen, Escocia (1882), quien la desarrolló para acomodar ciertos aspectos del comportamiento del tizón de la papa; estaba convencido de que esta teoría tenía una aplicación muy amplia, y postuló fases separadas, la parasítica y la no-parasítica del ciclo vital del hongo:

"Pero como estos conidios (= uredósporas) pueden germinar en todas partes, son independientes de cualquier hospedante y por eso son completamente no-parasíticos. El micelio no-parasítico tiene un carácter enteramente distinto del parasítico; existe por cierto la probabilidad de que el sistema, ahora parasítico, pueda reproducirse no-parasíticamente y sin fructificación sobre el suelo o las ramas del árbol, o en cualquier otro lugar. Pero este micelio no-parasítico es de dos tipos. El producido directamente de los conidios o de sus zoósporas es delgado y hialino o transparente, y produce esporas pequeñas en reposo. Estas esporas latentes, o pedacitos equivalentes del plasmodio en el interior de los conidios arrugados, produce un micelio secundario o latente, de una coloración marrón y de estructura torulosa o articulada. Y dentro de estas esporas se produce un plasma granular y esporulas diminutas, las que en parte salen a la superficie exterior donde se adhieren flojamente a la superficie o forman pequeñas masas flotantes alrededor de las líneas de crecimiento joven. Y solamente cuando de este micelio se desprende una masa de gránulos mucosos, que brotan las yemas jóvenes de las plantas de café, inoculando sus estomas con plasma fungoso, es que el hongo otra vez vuelve a la condición parasítica y después de una gestación alcanza su estado perfecto en la fructificación".

Todo esto, como se notará, fue observado en unas pocas hojas secas con lesiones de roya, que él examinó en Aberdeen. La teoría presentaba algo de semejanza con la anterior, o sea la teoría "filamentosa" de Morris.

Aunque muchos aceptaron el informe de Ward sobre el ciclo vital del hongo, todavía lo consideraban más como el resultado en lugar de la causa de la enfermedad, y esta última había de buscarse en otro lugar. Holmes consideró que plantas que habían estado por mucho tiempo bajo cultivo, estaban debilitadas de alguna manera y eran propensas al ataque de la enfermedad. Anderson (1882), un caficultor de Mysore, estaba convencido de que la dificultad se originaba en una deterioración de la constitución de los cafetos, debido a la continua propagación del mismo material parental, y que debían probarse nuevas fuentes de semillas. El también consideró (1879) la infección como sistémica, entrando por las raíces. G. F. Halliley, entre muchos otros, confió en abonamiento: "El único remedio para la enfermedad foliar es abonamiento adecuado, debidamente aplicado, y después tratamiento apropiado de los árboles y entonces tendremos cosechas apropiadas". Para él la dificultad radicaba en la savia:

"Antes de que un cafeto sufra un ataque de la enfermedad los bordes de las hojas se tornan de un color amarillento blancuzco sucio, entre más ancha se haga esta área es más fuertemente atacado el árbol por la enfermedad foliar; por eso no puede existir duda alguna que la savia es primeramente desorganizada y que después contrae la enfermedad a través de alguna acción de la atmósfera sobre las hojas; de otro modo, ¿cómo podríamos explicar que parcelas lejos de cualquier enfermedad sean afectadas repentinamente?"

Entre otros factores involucrados como causa de un ataque de la roya se citaron los vapores de la vegetación en descomposición, y en Java se creyó que el culpable era el árbol "dadap" (*Erythrina indica*) usado para sombra.

La defoliación constante que la roya causaba, conducía a un agotamiento de las reservas del árbol y a la incapacidad de producir flores o de madurar la cosecha de cualquier flor producida. Muchos caficultores no comprendían la lógica de este proceso y había mucha discusión de por qué los rendimientos decrecían continuamente, en forma tan marcada.

Algunos caficultores llegaron hasta considerar que no tenía nada que ver con la enfermedad. Por ejemplo "W" argumentó que como se había demostrado que el hongo ataca sólo el tejido foliar y no estaba presente en la savia, la falta de cosecha no podía deberse a su ataque, sino que debía buscarse alguna otra causa.

Cuando los estragos de la enfermedad se hicieron más serios, mayor fue la demanda porque se buscara un remedio. Los caficultores pidieron al gobierno que ofreciera una recompensa de 250.000 rupias a cualquier persona que pudiera ofrecer un remedio barato y práctico. El gobierno acogió al principio favorablemente esta idea, pero se retractó, debido a los consejos de Thiselton Dyer, quien señaló el embrollo tan grande que podría resultar del ofrecimiento de una recompensa, debido a las múltiples demandas que podían hacer los excéntricos y a la inmensa dificultad de comprobar los numerosos esquemas que sin duda se propondrían. Con tales dificultades se había tropezado cuando se ofreció una recompensa para un remedio contra la infección con *Phylloxera* en la vid - y de todos modos no se descubrió un tratamiento satisfactorio.

Aun sin la recompensa fueron propuestos numerosos y variados remedios para la enfermedad de la roya del café. Un señor Cummins escribió desde Cornwall (Inglaterra) y señaló las propiedades antisépticas del timol y sugirió que el cultivo de tomillo silvestre entre los cafetos podría controlar la roya. Un señor de apellido Wall encontró que el riego de los cafetos con una disolución diluida de ácido sulfúrico controlaba la enfermedad satisfactoriamente. En Java un inspector del gobierno recomendó cultivar el suelo alrededor de árboles infectados con una azada hasta unos 15 cm de profundidad, no desintegrando los terrones. Deberán excavar en cada segunda hilera huecos con una profundidad de 45 cm y distribuirse el suelo sacado. Este tratamiento debía suplementarse con el entierro de abono a una distancia de 30 cm del tronco. El Sr. G. H. Kearny sugirió eliminar todas las hojas cuando aparecieran por primera vez "manchitas diminutas" de la roya. Un señor Smith y un señor Ball tenían el remedio perfecto. Primeramente debían quitarse todas las hojas de los árboles, después se raspaba toda la corteza. Un líquido especial proporcionado por ellos debía mezclarse con estiércol descompuesto hasta producirse una consistencia de melaza, para ser frotado sobre toda la superficie del árbol. En este caso el remedio fue peor que la enfermedad.

De muchos de estos supuestos remedios no se escuchó nada más; pero dos métodos de tratamientos, ambos basados en el uso del ácido carbónico (fenol), fueron el tónico de una correspondencia larga en las columnas del "Tropical Agriculturist" durante varios años. El primer método se debía a un químico alemán, el señor E. C. Schrottky (1881), quien por casualidad visitó Ceilán cuando la roya era muy seria. Allí se quedó por un año, intentando perfeccionar su método de control. Primeramente aplicaba una disolución del antiséptico directamente sobre la corteza del árbol, con la esperanza de que fuera absorbida y que atacara al hongo dentro del tejido del hospedante; pero cuando no se tenía control (aunque él reportó una ligera y pasajera reducción de la enfermedad) y se había removido la corteza del árbol, él inventó una forma mediante la cual los vapores del ácido carbónico podrían hacer contacto estrecho con el follaje. El probó aspersiones con una disolución de 1-1/4 por ciento, pero no podía obtener una cobertura adecuada de las hojas. Por eso fabricó un polvo fino a base de una mezcla de cal y fenol, que contenía 3-3/4 por ciento del último, siendo la mezcla distribuida mediante dispersión a mano sobre los cafetos. Este método estuvo en gran boga y se aplicó en muchas haciendas. Un caficultor describe la escena en una hacienda de la manera siguiente:

"Cualquiera hubiera pensado que había caído nieve durante la noche. Una parte de la hacienda tenía un aspecto bastante blanco. La causa de esto de pronto se hizo aparente, pues a lo largo de las hileras de café se levantaban bocanadas grandes de humo, como si nuestra artillería hubiera entrado en acción para extirpar los muy sufridos cultivos. Al acercarme, sin embargo, vi que los cultivos mismos estaban lanzando hacia el viento puñados de

un polvo rosado-blancuzco, tan fino y liviano, que la menor brisa lo llevaba en nubes rodantes, envolviendo completamente árboles, cultivos y superintendentes. El efecto sobre los árboles pareció como nieve y cada hoja estaba recubierta con polvo de igual manera que las lilas y laureles a lo largo del Camino de Clapham lo están con polvo en la noche del día del Derby”.

Schrottky puso su método a prueba en la hacienda de Gangapitiya en el Valle de Dumbara, comenzando en abril de 1881. El sitio lo visitaron el Presidente de la Asociación de los Caficultores, junto con otros dos caficultores en diciembre y dieron un informe muy favorable (Shipton 1882). Desafortunadamente, como sucedió con muchas pruebas de medidas de control que se llevaron a cabo en esta época, se trató toda la hacienda y se hicieron comparaciones sólo con haciendas vecinas.

Ward, sin embargo, quien estaba por terminar sus estudios en esta época, dudaba mucho de los resultados; pero aparentemente basó sus conclusiones principalmente en consideraciones teóricas, sin llevar a cabo jamás pruebas de campo. Schrottky pensó que el fenol se vaporizaba y era absorbido por las plantas; esta opinión fue la que Ward atacó, mostrando que esporas producidas en una planta mantenida en una caja de Ward y sujetas a vapores de fenol mediante pintura de las paredes con una disolución fuerte de fenol, germinaban perfectamente bien. Curiosamente él no parecía haber probado el efecto del vapor sobre los tubos germinales, ni el efecto del contacto del polvo con las esporas, falla que Schrottky señaló prontamente. Ward también consideró que la acumulación de fenol en el suelo tendría un efecto adverso sobre las plantas, pues el regar una plántula de café con una disolución de fenol hacía que se enfermase bastante.

En 1882 se llevó a cabo una prueba grande en otra hacienda, la cual fue evaluada por un comité de caficultores el cual concluyó que, aunque existía alguna evidencia de que se obtenían buenos resultados, el tiempo había sido particularmente favorable. Si no hubiera sido así, como era frecuentemente el caso en otras partes, no se justificarían los gastos. Ellos consideraron que sería más económico gastar el dinero en poda y abono que en cualquier tratamiento que hasta entonces se había propuesto. En resumen, las haciendas de café habían sido manejadas entonces por tanto tiempo con pérdida, que no existía ya posibilidad alguna de emplear medidas puramente paliativas: sólo un “remedio” completo y barato habría encontrado una respuesta favorable entre los agricultores.

El segundo tratamiento, que dependía del ácido carbólico, se debía a Jacob P. Stork, caficultor de Fidji, donde la enfermedad llegó en 1879. El era alemán y había sido asistente del botánico Dr. Seeman. El estaba completamente convencido de que había encontrado un remedio maravilloso y sencillo para la enfermedad y escribió carta tras carta al “Tropical Agriculturist”, exaltando sus virtudes y ofreciendo viajar a Ceilán para demostrarlo. Al principio fue muy reservado sobre su naturaleza, esperando quizás hacerse rico patentando la fórmula. Sin embargo, se divulgó que las leyes de patentes de Fidji no eran aplicables a este tipo de invención y el método fue publicado en “Planter's Chronicle” (Stork 1882). Resultó ser un método de vaporización permanente de ácido carbólico. Igual que Schrottky, Stork insistía en que los vapores eran suficientes para inducir el cese de la esporulación y el secamiento de las lesiones. Una mezcla acuosa, conteniendo de 3 a 10 por ciento de ácido carbólico (Calvert No. 5) se colocaba en latas cilíndricas de medio litro de capacidad y 10 cm de diámetro, provistas de tapas para evitar la entrada de lluvia. Estas latas eran colocadas sobre palos distribuidos a razón de 36 por acre en los cafetales. El nivel del líquido se mantenía mediante adiciones periódicas. Un grupo de caficultores de Ceilán probó el

método sin éxito, pero Stork tercamente persistió en su idea, argumentando que los caficultores no habían seguido sus instrucciones debidamente; según él se podían obtener mejores resultados con un aumento de la concentración de fenol, diferentes diseños de los recipientes y la provisión de mechas cilíndricas para aumentar la vaporización. Nadie jamás corroboró las pretensiones de Stork y su visita a Ceilán, prometida por tanto tiempo, nunca se llevó a cabo.

Muchas de las aseveraciones con respecto a los efectos de varios factores, abonos, tratamientos, etc., y que circulaban en esta época, ciertamente se debían a una apreciación insuficiente de la variación del ataque de la roya de árbol a árbol, localidad a localidad y mes a mes, y a la falta de conocimiento de las técnicas experimentales requeridas para enfrentarlos. Es una lástima que no se prestó más atención a la observación de un caficultor ("G. W." en el "Tropical Agriculturist" 2:243), quien sembró algunos cafetos jóvenes muy atacados en macetas: al estar listos para experimentar con ellos, encontró que la enfermedad había desaparecido; él insinuó que si hubiera aplicado un tratamiento en lugar de esperar para que crecieran bien, él habría creído haber encontrado un remedio de mucha eficacia.

Ya hacia 1886 la caficultura en Ceilán estaba por terminarse. Los árboles se volvían más y más débiles por la pérdida continua de follaje y no podían mejorarse mediante abonamiento, poda o métodos de cultivos mejorados. Aun la roya parecía haber decaído un poco, según algunos informes, probablemente debido al agotamiento de los árboles. Esto dio origen a una esperanza patética entre algunos de que la enfermedad al fin había acabado y hubo algunas manifestaciones sorprendentes de optimismo. Por ejemplo, la señorita Gordon Cummings, al escribir en los años 1890-91 en los "Two Happy Years in Ceylon" y comparando condiciones con las de veinte años atrás, dijo:

"En esta época (1871) el Rey Café tenía la supremacía y cada pedacito de terreno disponible estaba dedicado a este cultivo único, produciendo en la mayoría de los distritos un efecto de mucha monotonía. Desde entonces ha pasado por muy malos días, y en los distritos grandes ha sido reemplazado por té y otros cultivos; pero es agradable saber que en este distrito (Haputale) donde era tan preeminente exuberante, una gran parte se ha recuperado, teniendo el café otra vez un lugar primordial en la provincia de Uva".

Y en otra ocasión agregó:

"Afortunadamente se decidió en muchas haciendas no arrancar los cafetos enfermos, sino darles una oportunidad de recuperarse, mientras se sembraban arbustos de té por todas partes; esto estuvo bien hecho, ya que en muchos casos, en haciendas que habían sido abandonadas con la esperanza perdida, los arbustos defoliados, los que aparentemente estaban muertos, se recuperaron como de un trance y brotaron de nuevo, dando cosechas aceptables de cerezas, no obstante que estaban luchando por su existencia entre las exuberantes malas hierbas y arbustos, que crecían por el abandono. En haciendas en donde el café se atendió nuevamente, se han obtenido rendimientos excelentes. Existe una vez más, buena esperanza para el futuro del café".

Este optimismo, desafortunadamente no se justificaba y el cultivo de café se volvió menos y menos productivo, las haciendas ya no podían mantenerse adecuadamente y muchos caficultores se arruinaron. Existía desconfianza general y alarma, se presentaron dificultades financieras, y el Banco Oriental quebró. La enfermedad continuó extendiéndose hacia el este, y el centro de la caficultura mundial se desplazó en consecuencia hacia el Nuevo Mundo, donde la roya estaba ausente. En Ceilán se arrancó el café y se sembraron otros cultivos, siendo el té el de mayor importancia. Como el Imperio Británico dejó de ser un productor importante de café, el té se convirtió en su principal cultivo y bebida. El tomar

café perdió su popularidad en Gran Bretaña y el té se convirtió en bebida nacional, cambio que debe atribuirse principalmente al hongo que produce la roya del café, con quién sabe qué consecuencias para la historia del mundo.

## GERMINACION DE LAS ESPORAS

Ya se ha descrito la germinación de teleutósporas y de basidiósporas (pp. 8 y 9). Aparentemente no se ha hecho ningún trabajo con respecto a los efectos ambientales sobre la germinación en ninguno de los dos casos.

Observaciones en relación con la germinación de uredósporas fueron anotadas primeramente por Thwaites (1874). El informó que no era difícil inducir germinación. Las esporas maduras, colocadas sobre carbón vegetal humedecido, germinaban en pocos días. Primeramente éstas aumentaban un poco de tamaño y su contenido se convertía en una o más masas globulares traslúcidas. De cada una de éstas se desarrollaba un filamento, que crecía rápidamente y se hacía más o menos ramificado. En algunos de los extremos de las ramificaciones, se formaban esporas secundarias, como cordones irradiando en forma de collares de pequeños corpúsculos esféricos de tamaño uniforme; éstos eran muy parecidos a las fructificaciones de *Aspergillus*.

Un poco más tarde Abbay (1878) describió la germinación en detalle y publicó ilustraciones. El consideró que las uredósporas eran "esporangios" y al exponerlas a presión, se liberaban las verdaderas esporas como pequeños corpúsculos globulares, indicando que la germinación tenía lugar 40 a 80 horas después de que los "esporangios" eran colocados en agua o en la solución de Pasteur a 32°C. La germinación era directa, mientras que las "esporas" estaban todavía dentro de los "esporangios", o tenía lugar después de que habían sido expulsados de los "esporangios". El tubo germinal fue descrito como abundantemente septado y frecuentemente conteniendo células de forma de barril. Cuando se cultivaba el micelio resultante sobre portaobjetos, se observaban conidios catenulados.

Es evidente que tanto Thwaites como Abbay erróneamente malinterpretaron las apariciones producidas por el crecimiento de mohos o quizás de hifomicetes parasíticos en las esporas con la germinación. Es dudoso que ellos realmente observaran también la verdadera germinación, aunque una de las ilustraciones de Abbay sugiere que quizás lo lograron.

Morris (1880) dio en su libro una descripción detallada de la germinación. Pareciera que él cometió los mismos errores que sus predecesores, pues las ilustraciones que acompañan su descripción muestran claramente que un gran porcentaje de los "tubos germinales" reproducidos, aunque probablemente no todos, no pertenecían a *Hemileia vastatrix*. Debido a estas observaciones erróneas él concluyó que una redcilla filamentosa extensa se desarrollaba sobre la superficie de las plantas como resultado de la germinación de las esporas sobre sus superficies, y que eran sólo los últimos estados del desarrollo del hongo los que se encontraban dentro de sus tejidos. Esto le condujo a una idea errónea sobre la facilidad con que la enfermedad podría controlarse mediante espolvoramiento con fungicidas.

Morris reportó que la germinación ocurría dentro de 24 horas cuando los "esporangios" eran colocados sobre papel absorbente o carbón vegetal húmedos. Su descripción de las primeras etapas, cuando al referirse a los "esporangios" él escribió: "Hubo abultamiento de los lados en varios puntos y cuerpos en forma de sacos salieron hacia afuera", sugiere que él, por lo menos en parte, observó la verdadera germinación.

Ward (1882 a y b) estudió la germinación con mucho cuidado y demostró que la teoría de filamentos de Morris estaba equivocada; además de que no se producían esporas secundarias por el tubo germinal, el que desarrollaba sólo un crecimiento limitado en la parte exterior de la planta antes de tener lugar la invasión del tejido del hospedante. El demostró que las llamadas esporas secundarias pertenecían en realidad a hongos bastante distintos. Hasta hoy día no se ha podido agregar nada de importancia a sus descripciones e ilustraciones de las esporas en germinación. El encontró que las esporas germinaban libremente a 24°C, cuando eran colocadas en contacto con agua, pero no lo hacían cuando se les mantenía secas. La germinación tenía lugar, cuando el substrato era vidrio, hojas de café, suelo o los hilos de una tela de lona colocada en el campo. El no investigó los efectos de diferentes niveles de temperatura sobre la germinación, ni si era suficiente una alta humedad relativa del aire para inducirla. Las referencias en la literatura que sugerían que él había encontrado que 24°C era el óptimo, no son correctas. Según él las esporas que se habían formado al comienzo de la estación seca, y habían pasado por ella, necesitaban varios días para germinar al ser colocadas en agua, mientras que las esporas que eran producidas en la atmósfera húmeda del monzón del suroeste, germinaban dentro de 12 a 24 horas, período a cuyo final se había completado normalmente todo el proceso, incluyendo la formación de un apresorio. La capacidad para germinar se mantenía, si las esporas se guardaban por 6 semanas en una botella bien tapada en un lugar fresco. Si se exponían abiertamente a la luz sobre una superficie fresca, se perdía la viabilidad.

### Tiempo Necesario para la Germinación

Algunos años más tarde Bürk (1889) condujo en Java investigaciones detalladas sobre el efecto de varios factores sobre la germinación, pero investigadores posteriores frecuentemente parecieron ignorar sus resultados. El encontró que bajo condiciones apropiadas, la germinación podía detectarse primeramente después de un período tan corto como 2 a 2½ horas. Pero hasta hace muy poco, frecuentemente se ha indicado que se requieren de 12 a 24 horas, probablemente con base en los resultados de Ward. Sin embargo, al leer estos últimos cuidadosamente, se va a encontrar que él simplemente afirmó que el proceso hasta la formación de un apresorio, normalmente se completaba en ese período de tiempo.

George (1956) anotó recientemente que la germinación comenzaba en 1½ a 2 horas, siempre que existieran las condiciones favorables necesarias, pero no presenta detalle. Después de eso, Rayner (1961c) reportó estudios sobre el progreso de la germinación en el envés de hojas de café húmedas, mantenidas en la oscuridad a 23°C. El expuso gráficamente el porcentaje de esporas que mostraron síntomas visibles de germinación (el comienzo del abultamiento de la pared de la espora en preparación para la salida del tubo germinal), con varios intervalos de tiempo. Las curvas resultantes fueron sigmoideas, con la parte superior prolongada e indicación de una parte basal muy corta. El tiempo promedio de germinación en tres ensayos reportados fue 2.5, 3.7, y 4, horas respectivamente, y en uno se observó un poco de germinación después de sólo una hora. Se concluyó que el proceso debe comenzar casi tan pronto como se mojan las esporas, y quedar concluido después de 7 a 10 horas. Cuando se expresó en forma de un gráfico una transformación de probit de la germinación expresada como porcentaje de la germinación total observada, aún se mantenía una curvatura ascendente clara, indicando una distribución de frecuencia de la germinación como función del tiempo un poco asimétrica. Investigaciones subsiguientes (no publicadas) indicaron que esta curva se ratifica, si se traza la curva contra el recíproco del tiempo de germinación; de este modo concuerda con las observaciones de Wellman y McCallan (1942) en una serie de otros hongos.

Nutman y Roberts (1963) han publicado gráficos basados en observaciones de la germinación en dos superficies, hoja y agar nutritivo, de 1000 esporas por punto. Ellos indicaron que el porcentaje de germinación aumentaba linealmente con el tiempo y que esto fue demostrado por Clarke en un apéndice de la publicación de ellos. Este apéndice, sin embargo, no contiene una demostración estadística de la naturaleza lineal de la curva. Además, como el porcentaje de germinación no puede concebiblemente exceder del 100 por ciento, la regresión debe eventualmente doblarse más o menos abruptamente hacia un valor asintótico. No hay duda de que ellos realmente mostraron una curva de esta naturaleza en su publicación (véase p. 36), pero no comentaron su forma. Pareciera que el informe de Nutman y Roberts requiere que se explique que sólo es aplicable a la región de la curva que trata de porcentajes de germinación un poco menores del máximo. Para esta parte de la curva, los resultados del autor (Rayner) también demostraron una relación aproximadamente lineal, aunque existía la indicación de una pequeña parte inicial curva.

Con la excepción del único caso mencionado anteriormente en sus diversos estudios sobre germinación, los que se describirán más adelante. Nutman y Roberts parecen haber limitado su atención a las tasas de germinación como existen al comienzo del proceso de germinación, y de no haber prolongado los estudios hasta alcanzar valores asintóticos. Esto debe tenerse en mente al considerar sus resultados y debe reconocerse la posibilidad de que factores que producían diferencias en niveles de germinación después del mismo lapso de tiempo (debido a un efecto sobre la tasa inicial de germinación), quizás no se hubieran comportado de esa manera, si se hubiera concedido suficiente tiempo para que se pudiera completar el proceso en cada caso.

Aunque Nutman y Roberts no citaron un período mínimo para los primeros síntomas visibles de la germinación, mediante extrapolación de sus regresiones publicadas, pareciera que ello ocurre alrededor de 2 a 3 horas.

Gyde (1952) reportó que se requirieron 6 días para la germinación en agua o en una disolución al ¼ de sacarosa, resultado que con seguridad es erróneo.

### Efecto de la Temperatura

Nutman y Roberts hicieron un estudio detallado del efecto de la temperatura sobre la germinación bajo condiciones de laboratorio. Encontraron, suponiendo una relación lineal entre porcentaje de germinación y tiempo transcurrido, que la tasa de incremento en el porcentaje de germinación con el tiempo era afectado por la temperatura. Cuando la germinación tenía lugar a temperatura constante sobre capas de agar nutritivo, se observaba la tasa máxima a 22°C. La relación con la temperatura podría estar expresada por una curva, a la cual se dio un polinomio cuadrático:

$$\gamma = -927.398 + 92.547 x - 2.120 x^2$$

donde:

$$\gamma = \text{tasa de germinación} \quad x = \text{temperatura en } ^\circ\text{C.}$$

La germinación no tuvo lugar a 15,5°C o menos, ni de 28°C o más. Sin embargo, sobre discos u hojas, esta curva mostró dos picos, uno en 21°C y un segundo en 25,5°C, separados por una depresión marcada.

Exposición previa. bajo condiciones húmedas a temperaturas alrededor o ligeramente bajo el mínimo para la germinación (se ensayó con 15°C, 16°C, 17°C y 17.5°C), aumentó la tasa de germinación, al transferir las esporas a una temperatura más alta, más allá del valor de la tasa observada cuando se comenzó la exposición en condiciones húmedas a esa temperatura más alta. Por ejemplo, un lote de esporas expuesta a la humedad a 22°C, mostró un 10 por ciento de germinación después de 9 horas y el porcentaje aumentó a razón del 1,3 por ciento para cada hora adicional. Un lote similar, mantenido húmedo a una temperatura de 15°C por 3½ horas (tiempo durante el cual no tuvo lugar germinación), al ser transferido a 22°C, dio 14,6 por ciento de germinación después de 2 horas y el porcentaje aumentó a razón de 7,3 por ciento por cada hora adicional. El nivel del estímulo estaba relacionado con la duración del tiempo de la exposición en condiciones frescas.

En sus investigaciones Nutman y Roberts utilizaron por lo general suspensiones de esporas, las que fueron atomizadas sobre películas de agar o superficies foliares mediante un lápiz "aerógrafo" con altas presiones, un método que tiene la ventaja de producir un esparcimiento bastante uniforme de las esporas, facilitando así los recuentos de germinación. El método puede criticarse, pues ha sido demostrado que el comportamiento con respecto a la germinación de esporas en suspensión es diferente a cuando flotan sobre una película de agua (véase p. 30). En algunas de sus investigaciones el autor (1961c), empleó un método (originalmente debido a Morgan) para obtener un depósito bastante parejo, principalmente de esporas individuales, que supera esta dificultad. Se produjo un vacío dentro de un frasco tipo campana sobre una mesa para vacío; luego este vacío fue disipado mediante un tubo, en cuyos extremos se fijó una boquilla que fue pasada al mismo tiempo sobre una lesión de roya. Las esporas fueron chupadas al interior del frasco, donde formaron una nube, la que se permitió que se sedimentara sobre el envés de hojas de café. A continuación se atomizó esta superficie con una llovizna de agua y se observó la germinación.

### **Requerimiento de Humedad**

La presencia de agua líquida es esencial para la germinación. Ward llegó primeramente a esta conclusión, pero en realidad no comprobó el efecto de la humedad alta del aire por sí solo.

Bürk (1889) encontró que aun en una atmósfera saturada, la germinación no tenía lugar cuando no había agua líquida en contacto con las esporas. Mayne (1932b) llegó a una conclusión similar, pero no dio detalles experimentales.

Que las humedades relativas altas del aire son inadecuadas para estimular la germinación, aun sobre superficies foliares, fue comprobado por el autor (Rayner 1961c), quien probó los efectos de humedades relativas del 95 y 98 por ciento, obtenidas mediante el uso de disoluciones saturadas de ciertas sales. Aun en una atmósfera saturada, nunca se observó germinación, si no se condensaba agua líquida sobre la hoja o superficie del vidrio que sostenían las esporas. Nutman y Roberts (1963) han confirmado que el agua líquida es esencial.

Aunque se requiere agua líquida para la germinación es difícil mojar las esporas, ya que la mayor parte de ellas, al colocarlas sobre una gota de agua, flotan en su superficie. Raras veces se menciona este hecho, y aparentemente lo anotó por primera vez Zimmermann (1904), aunque debiera ser de común conocimiento de todos los que han trabajado con esporas de este hongo. Nutman, Roberts y Bock (1960) describieron de nuevo este comportamiento y llamaron la atención al hecho de que mientras estén en estado seco, las esporas están agrupadas en manojos de diferentes tamaños. Al hacer contacto con una gotita de agua, se deshace instantáneamente la adhesión mutua entre las esporas en los manojos y las uredósporas se extienden sobre la superficie como una capa de esporas individuales.

Zimmermann notó que las pocas esporas que se hundían no germinaban, mientras que von Faber (1910) notó que la sumersión en agua bajó la germinación, hecho que recientemente fue confirmado por George (1956). Mayne afirmó (comunicación privada), que la comparación se efectuó entre esporas agitadas en agua para formar una suspensión y que flotaban sobre la superficie de gotitas de agua. En este caso aun las esporas que normalmente flotan, al ser hundidas, también muestran luego una capacidad reducida de germinación. En la misma comunicación Mayne hizo notar que los tubos germinales producidos por esporas que germinaban en la superficie de una gotita de agua, raras veces crecían en el interior del líquido, sino más bien a lo largo de su superficie o hacia el aire, un fenómeno que ha sido también observado por el autor y por Hislop (comunicación privada). En vista del diferente comportamiento de las esporas en forma de suspensión de agua, las observaciones hechas al emplear tales suspensiones deben aceptarse con precaución, especialmente al hacer deducciones de ellas sobre lo que podría ocurrir en condiciones de campo. A pesar de que existe actualmente una evidencia poderosa de que, por lo menos en los estados finales, la dispersión de esporas hacia el envés foliar ocurre principalmente mediante salpicaduras de lluvia, la mayoría de tales esporas todavía flotarían sobre la superficie de las gotitas de agua y no se hundirían. Lo ideal sería efectuar los estudios sobre el efecto de factores ambientales, tales como temperatura, luz, etc., con esporas que flotarían sobre gotitas de agua y no con esporas en suspensión, si es que se quiere hacer deducciones dignas de confianza sobre el comportamiento en el campo.

Von Faber (1910) reportó que si la germinación ocurre sobre gotitas de agua relativamente grandes, colocadas sobre una hoja en una atmósfera no saturada y se mantiene el tamaño de las gotitas mediante adiciones, se forman tubos germinales largos y delicados, sin apresorios y no ocurre penetración de la hoja. Si no se mantiene el tamaño de la gotita, sino que se le permite decrecer debido a evaporación, los tubos germinales son más gruesos, se forman apresorios y hay penetración.

Ya se han descrito las investigaciones de Nutman y Roberts sobre los efectos de exposición de las esporas a la humedad a temperaturas demasiado bajas para su germinación. Ellos no mencionaron si la exposición tuvo lugar en la luz o en la oscuridad, aunque Bürk (1889) había demostrado que esto afecta severamente la germinación. El encontró que cuando las esporas estaban flotando sobre agua, colocada en un portaobjeto, eran así expuestas delante de una ventana pero no a la luz directa, y a temperaturas bajo las cuales la germinación hubiera tenido lugar en la oscuridad, la germinación se inhibía por completo. Si la exposición era de 1-1/4 a 1-3/4 de hora y después se colocaban los portaobjetos en la oscuridad, no había germinación. El efecto inhibidor se debía a la parte azul del espectro, ya que se producía al colocar un filtro azul sobre el portaobjeto, pero no cuando se usaba un filtro rojo. Esta inhibición de la germinación subsiguiente en la oscuridad, debida a exposición previa a la luz a temperaturas que permiten la germinación en presencia de agua líquida, es reverso del efecto de inhibición por temperatura baja. Por eso sería interesante saber cuál sería el efecto combinado de exposición a la luz y a temperatura baja. Un factor de complicación sería que la exposición a la luz por períodos cortos podría tener un efecto estimulante (véase p. 31).

El efecto de mojar las esporas seguido por secamiento antes de que la germinación hubiera comenzado, fue estudiado por Nutman y Roberts (1963). Una vez que las esporas habían sido mojadas, aun por el período mínimo posible o sea 6 minutos (tiempo necesario para que se secaran otra vez), aunque después se dejaron secas por sólo 5 minutos, se tenía una reducción muy marcada en el porcentaje de germinación, siendo ésta de 37,1 a 5,4 por ciento en el ejemplo citado. Estos valores eran de la misma magnitud, ya fuera que se utilizaran períodos húmedos más largos (hasta una hora) o períodos secos más largos (hasta 15 minutos). Existía evidencia que esto se debía a la interrupción de la germinación y no a

la inhibición, pues al prepararse una suspensión densa de esporas en agua se inhibe la germinación. Cuando las esporas se precipitaban en tal suspensión mediante centrifugación, y se secaba la masa resultante, se resuspendía y se atomizaba sobre discos de hojas, el porcentaje de germinación era similar al obtenido al asperjar la suspensión original.

### Efecto de la Luz

La luz es un factor importante que influye en la germinación. Este hecho fue demostrado por primera vez por Bürk (1889). El encontró que en un portaobjeto, aunque expuesto a la luz difusa en un laboratorio a una distancia considerable de la ventana, la germinación era completamente inhibida. No era necesaria la oscuridad absoluta. Desafortunadamente, no ofreció datos que permitan deducir con alguna exactitud las intensidades de luz con que él trabajó. Como ya se mencionó antes, él encontró que una exposición a la luz por 1-1/4 a 1-3/4 de hora, cuando las esporas se mojan por primera vez, evitaba por completo la germinación subsiguiente en la oscuridad. Sin embargo, cuando las esporas estaban secas y todavía unidas a las lesiones de la hoja, la exposición a la luz fuerte del sol por varias horas, aun hasta cuando la hoja se había secado completamente, carecía de efecto apreciable sobre la capacidad para una germinación subsiguiente.

Von Faber (1910), al estudiar la germinación sobre superficies foliares de *Coffea liberica* en Java, utilizando gotitas mantenidas mediante suministro de agua, obtuvo efectos similares a los de Bürk en cuanto a la exposición a la luz, pero encontró que había germinación con luz débil. Tampoco en este caso es posible deducir con exactitud las intensidades de luz que él utilizó. Mientras que él estaba de acuerdo con Bürk, en que la exposición a luz fuerte por una hora o más inhibía la subsiguiente germinación, él encontró que exposiciones más cortas podían estimularla. Esto también era aplicable cuando las esporas se mantenían en la oscuridad por tres horas y luego eran expuestas a la luz y devueltas nuevamente a la oscuridad. El efecto máximo ocurrió a los 30 minutos de exposición, tal como se muestra en el Cuadro 1.

**CUADRO 1.** Porcentaje de germinación de uredósporas en gotitas de agua en hojas mantenidas por tres horas en la oscuridad, después expuestas a la luz fuerte por períodos diferentes y luego devueltas a la oscuridad.

Exposición a luz fuerte (minutos)	Porcentaje de germinación
0	9 - 14
10	22
20	25 - 28
30	26 - 32
40	18 - 22
50	7 - 15
60	8 - 10

Debe hacerse hincapié en que después del período preliminar de 3 horas en la oscuridad, ya había tenido lugar una germinación del 7 al 15 por ciento, lo cual indica que hubo poca o ninguna germinación adicional si no había exposición a la luz cuando ésta excedía 50 minutos.

Resultados similares se obtuvieron cuando se utilizó luz débil, de intensidad insuficiente para inhibir la germinación, y se interrumpió por luz fuerte, pero el estímulo fue menor, siendo máximo con una exposición de 20 a 30 minutos. Los resultados presentados en el Cuadro 2 se obtuvieron cuando la exposición tuvo lugar inmediatamente después de colocar las esporas en la gotita de agua, seguida por un período en la oscuridad.

**CUADRO 2.** Porcentaje de germinación de uredósporas en gotitas de agua en hojas mantenidas por tres horas en luz difusa de intensidad insuficiente para inhibir la germinación; después expuestas a luz fuerte por períodos diferentes y finalmente colocadas en la oscuridad.

Exposición a luz fuerte (minutos)	Porcentaje de germinación
0	10 - 15
10	7 - 10
20	6 - 12
30	9 - 14
40	8 - 15
50	4 - 7
60	1 - 3

Por lo tanto, las exposiciones de hasta 40 minutos no afectaron apreciablemente la germinación, pero más allá de esto la redujeron marcadamente.

Experimentos con filtros fabricados con disoluciones de dicromato de calcio o cobre amoniacal demostraron que fue el extremo azul violeta del espectro el que resultó efectivo, confirmando las observaciones de Bürk. Esto también era aplicable al efecto estimulador.

Mayne (1932b) encontró que luz de una ventana hacia el norte en la India del Sur inhibió completa o casi completamente la germinación, tanto en gotitas de agua sobre un portaobjeto como en la superficie foliar. El consideró que esto enfocaba la atención hacia la noche como el período de la germinación de las esporas. Pero él insinuó que cierta evidencia de experimentos con inoculaciones indicaba que la luz difusa no tenía el mismo efecto inhibitorio. El también encontró que la luz débil no tenía el mismo efecto inhibitorio que la luz fuerte. George (1956) confirmó que la luz fuerte inhibía la germinación, la que era máxima en oscuridad completa.

Las propias investigaciones del autor (Rayner 1961c y también resultados sin publicar) confirmaron el efecto inhibitorio de luz relativamente fuerte, pero también mostraron que cierta germinación podía ocurrir en el envés de hojas expuestas a luz difusa en el laboratorio. En vista de esto, se llevaron a cabo observaciones al descubierto para ver si la germinación podía ocurrir bajo condiciones de campo durante las horas del día. En todos los casos se experimentó mucha dificultad en evitar que las gotitas de agua que contenían las esporas se evaporaran aún cuando no hubiera sol. Aunque las hojas inoculadas se encerraron en

bolsas de polietileno, metiendo toda la rama en una manga y luego se introdujera lentamente en un extremo de la bolsa aire, burbujeándolo a través de un recipiente con agua, las gotitas de agua atomizadas sobre las hojas se evaporaban rápidamente cuando brillaba el sol. También se llevaron a cabo en el campo inoculaciones en hojas, aún fijas en el árbol, durante una llovizna o cuando había un rocío suave sobre los haces foliares. En todos los casos las gotitas de agua se evaporaban antes de haber pasado suficiente tiempo para que la germinación tuviera lugar. La germinación a la luz del día en el campo es pues no sólo adversamente afectada por la luz misma, sino también por la evaporación de las gotitas de agua que lleguen a las hojas.

El efecto de interrumpir la germinación que ya había comenzado en la oscuridad, mediante exposición a luz relativamente fuerte (pero no luz solar directa) fue probado bajo condiciones de laboratorio, que eficientemente evitaban la evaporación de las gotitas de agua sobre las cuales flotaban las esporas en un experimento en que el envés de las hojas inoculadas miraba hacia arriba. Se obtuvo evidencia de que después de 3 horas en la oscuridad, período después del cual hubiera podido esperarse que ocurriera un poco menos que la mitad del porcentaje total de germinación posible si se hubiera mantenido la muestra en la oscuridad, no hubo más germinación después de la exposición a la luz. Sin embargo, continuó el crecimiento de los tubos germinales ya producidos. Similarmente, después de 4 horas en la oscuridad, la exposición a la luz impedía germinación ulterior, pero permitía el crecimiento del tubo germinal. Al examinar las curvas de probit de la frecuencia de distribución para el largo del tubo germinal, se deducía que tubos germinales de menos de  $30 \mu$  quedaban expuestos a la luz. Con un largo mayor que éste, había inhibición decreciente proporcional al aumento en el largo del tubo germinal, y la inhibición cesaba en los tubos mayores de  $110 \mu$ . Estas observaciones podrían indicar que la germinación comenzaba antes de amanecer, quizás no continuaba, pero que los tubos germinales ya producidos podrían seguir creciendo. Sin embargo, debe recordarse que estas conclusiones están basadas en resultados con intensidades de luz relativamente altas y quizás no sean aplicables para aquellas más bajas, tal como prevalecen en el campo al amanecer, y especialmente para hojas situadas en el interior del arbusto. Nutman y Roberts (1963) midieron las intensidades de luz en el envés de hojas en el campo en Kenia. La lectura más alta de 315 lux, se encontró en hojas expuestas a plena luz solar. Hojas en autosombra durante un día soleado dieron valores tan bajos como 24 lux, mientras que a medio día, en condiciones nubladas, 5 lux fue un valor común. Nutman y Roberts encontraron que bajo condiciones de laboratorio ocurría una germinación considerable a 10 lux, aunque siempre fue menor que en la oscuridad, confirmando así las observaciones del autor y de investigadores anteriores de que la germinación puede tener lugar en luz difusa.

Es evidente que en el campo durante el día las intensidades de luz en el envés de las hojas podrían bajar más del punto en el cual se produciría la inhibición, si éste fuese el único factor. Todavía queda el efecto observado por el autor de que las gotitas de agua se evaporan con frecuencia demasiado rápidamente durante la luz del día para permitir germinación. Queda por investigar, cuán importante es este factor y hasta dónde puede tener lugar la germinación (y penetración) durante la luz del día en el campo. Nutman y Roberts solamente investigaron el efecto de un nivel de intensidad luminosa, e investigadores anteriores ni siquiera definieron los niveles de "luz difusa" bajo los cuales observaron la germinación. Se requiere una investigación completa de los efectos de la luz en los rangos que puedan encontrarse en el campo, la interacción con la temperatura y los efectos de cambios de la oscuridad a la luz y viceversa, tal como ocurren al amanecer y anoecer. Especialmente el último punto, como se apreciará más adelante, es de importancia, pues quizás éstos sean los períodos más importantes durante los cuales podría tener lugar la infección.

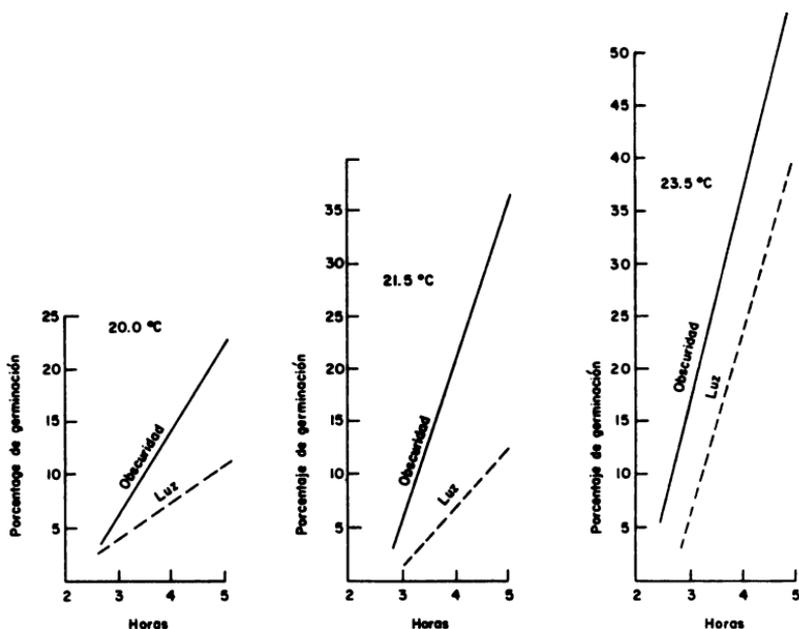


Figura 3. Germinación en oscuridad y luz para tres temperaturas. (Según Nutman y Roberts, 1963).

Con el único nivel de luz con que trabajaron, Nutman y Roberts estudiaron la interacción con la temperatura. Encontraron que no sólo el porcentaje de germinación era generalmente más bajo en la luz que en la oscuridad después de cualquier período transcurrido, sino que además cuanto más largo el período, más alta era la diferencia, es decir, más bajo porcentaje de germinación. La diferencia en porcentajes, sin embargo, decreció al acercarse a la temperatura óptima para la germinación, hasta que en el óptimo, los porcentajes fueron parecidos, aun cuando la cantidad de germinación fue más baja después de cualquier período dado. Cuando se permitió que transcurriera un período de suficiente duración a cualquier temperatura, el porcentaje de germinación en la oscuridad decayó más rápidamente que en la luz, siendo por eso los porcentajes totales finales de la germinación muy similares. En el nivel de temperatura más bajo estudiado (18°C), la luz estimuló un comienzo de germinación un poco antes que en la oscuridad, existiendo entonces durante un período corto un nivel de germinación más alto, aunque el porcentaje menor a la luz pronto disimuló esta diferencia. Sin embargo, podría resultar en una infección acelerada (véase p. 45).

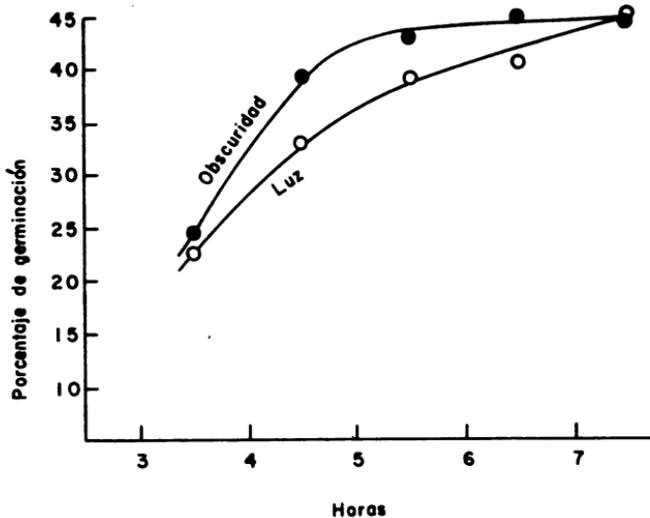


Figura 4. Germinación sobre agar de papa-dextrosa en oscuridad y luz. (Según Nutman y Roberts, 1963).

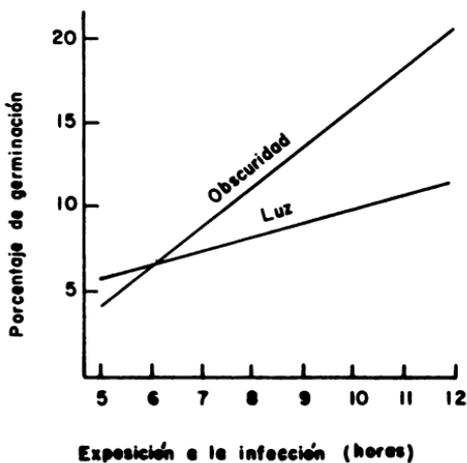


Figura 5. Producción de lesiones en relación con el tiempo de exposición a condiciones infecciosas en oscuridad y luz. (Según Nutman y Roberts, 1963).

Es evidente, de los resultados comentados anteriormente, que la relación entre la germinación de esporas de *Hemileia vastatrix* y la luz es compleja y que requiere mucha más investigación, no sólo en el laboratorio sino especialmente en el campo, antes de que pueda comprenderse claramente su papel determinante, y si ocurre o no infección bajo cualquier circunstancia.

### **Efectos del Substrato**

Nutman y Roberts (1963) también investigaron bajo condiciones de laboratorio el efecto de la edad de la hoja sobre la germinación. Encontraron que la germinación sobre hojas jóvenes, completamente desarrolladas, las que todavía eran delgadas y con apariencia juvenil, después de un intervalo de 5 horas era 2 a 4 veces más alta que sobre hojas maduras situadas dos entrenudos más abajo contando desde el ápice, e intermedia sobre hojas situadas en el medio. No se ofreció información de si esta diferencia hubiera persistido con un período más largo para la germinación. La germinación sobre discos cortados de áreas cerca del borde foliar fue de 1,6 a 6,7 veces más alta en comparación con discos sacados cerca del centro de las mismas hojas. Debido a que por la manera en que crecen las hojas las áreas marginales son más juveniles, las diferencias observadas podrían deberse a las mismas causas de la diferencia entre hojas juveniles y hojas maduras.

Hubo una variación considerable entre la germinación sobre diferentes hojas. Donde la germinación era alta en el borde de la hoja, fue generalmente también alta cerca del nervio central, sugiriendo por lo tanto un factor intrínseco de "hoja" que afecta la germinación.

### **Efecto de Disoluciones diluidas de Fungicidas**

Nutman y Roberts (1962c) han informado que diluciones muy grandes de óxido cuproso o sulfato de cobre estimulaban la germinación, cuando ésta ocurrió sobre películas de agar que contenían dichos fungicidas, estaban colocados sobre portaobjetos. Con óxido el efecto fue máximo a 0,16 ppm de cobre y decreció rápidamente con concentraciones mayores. Cuando deliberadamente se dejó envejecer las esporas hasta que casi habían perdido su viabilidad, entonces resultó un grado muy alto de estímulo (150 veces). Aunque la cantidad de datos no era adecuada para conclusiones seguras, parecía existir una relación logarítmica entre germinación a dilución óptima y en ausencia del fungicida.

### **Efecto de Concentración**

Nutman y Roberts (1963) informaron que las esporas no germinan cuando están en suspensión concentrada, y hasta parece que se inhibe la germinación incipiente (véase p. 40).

### **Germinación bajo Condiciones de Campo**

Aunque varios investigadores han estudiado la germinación en el laboratorio, ninguno, con la excepción del autor, parece haber hecho observaciones en el campo, contentándose con hacer deducciones sobre lo que probablemente ocurriría según sus observaciones de laboratorio. Por ejemplo, Burk (1889) pensó que sólo hojas muy jóvenes podrían permanecer suficientemente tiempo húmedas después de un aguacero para que ocurriera la germinación y la infección. Mayne (1932b) consideró que la inhibición de la germinación por la luz dirigía la atención hacia las horas de la noche como período para la germinación de las esporas, concepto que fue apoyado por el autor (1961c). Nutman y Roberts (1963), por

otro lado, con base en sus investigaciones sobre el efecto de la temperatura, constataron que las temperaturas bajas que se presentan durante la noche en las áreas cafetaleras de Kenia hacen muy poco probable que pueda ocurrir la germinación o penetración. Ellos no tomaron en consideración las observaciones del autor, que no están de acuerdo con esta opinión, y que en realidad se hicieron en su mayor parte para verificar si las temperaturas bajas de la noche podían impedir la germinación.

En estas pruebas, llevadas a cabo en el campo en la Estación de Investigaciones de Café, Riuru, Kenia, a una altura de 1800 msnm en enero y febrero de 1957, se observó repetidamente que la germinación tiene lugar durante la noche. Se colocaron esporas sobre las hojas de una planta en maceta que se dejó a la intemperie, y luego se rociaba ligeramente con agua a una de las siguientes horas: 8, 18 ó 22 horas. Luego la alta humedad relativa se mantenía introduciendo las puntas de las ramas en bolsas de polietileno. En confirmación de otras observaciones, no se registró nada o muy poca germinación a las 18 horas (poco antes del anochecer) en las esporas mojadas en la mañana. Sin embargo, a las 22 horas había ocurrido una germinación considerable, tanto en esporas mojadas a las 8 como a las 18 horas. El promedio de germinación fue un 55 por ciento del valor observado a las 8 horas de la mañana siguiente, con un rango total del 7 al 100 por ciento. No se notó un aumento ulterior durante el día siguiente, salvo en una excepción.

El efecto que tiene mojar las esporas durante el día sobre la germinación en la noche fue variable. En tres pruebas el efecto pareció ser muy reducido. En una prueba, aparentemente ocurrió una inhibición completa de germinación ulterior pero el lote de esporas utilizadas dio en otros experimentos sólo porcentajes muy bajos de germinación. En otra prueba hubo evidencia de un estímulo de la germinación durante el periodo de 18 a 22 horas, pero el efecto se había disipado al llegar el día siguiente. En resumen, existía poca evidencia de que el efecto de inhibición de la germinación subsiguiente, debido a exposición a la luz mientras que las esporas estaban mojadas, tal como lo observó Burk (véase p. 31) y como fue modificado por von Faber (véase p. 31), tuviera importancia bajo condiciones de campo.

Por lo tanto, la evidencia obtenida por el autor muestra claramente que bajo las condiciones que reinaban al efectuarse sus observaciones, la germinación tenía lugar en el campo durante la noche tanto, en el período de 18 a 22 horas como de 22 a 8 horas. Según Nutman y Roberts, las temperaturas durante estos períodos eran demasiado bajas para permitir germinación. Los mismos autores citaron para esta aseveración datos obtenidos en una plantación por Kirkpatrick con temperaturas de marzo, cuando tales permanecieron inferiores a 17°C durante la noche en un promedio de 10,5 horas. Sin embargo, esta plantación estaba ubicada, en opinión del autor, cerca del límite superior de altura para la roya y en esta área la enfermedad raras veces es de importancia económica. El autor ha examinado registros de termógrafo obtenidos de un instrumento colocado en una parcela de café en la Estación de Investigaciones de Café, a unos 135 m menos de altura de la que Kirkpatrick usó para sus observaciones, y donde los ataques de roya tienen que ser frecuentemente controlados mediante atomizaciones. Para la semana del 23 al 30 de enero de 1958, que parece típica de los meses de enero a marzo según los registros de grados-hora/semana, de dicha Estación por un período de cuatro años, las temperaturas durante el periodo de 18 a 6 horas eran inferiores a 17°C durante un intervalo promedio de 6 a 8 horas, dando 5 a 2 horas con temperatura superior y un rango de 2, 3 a 11, 25 horas para los días individuales. Las temperaturas sólo fueron inferiores a 15°C durante un periodo promedio de 0, 2 horas y en cuatro de las siete noches permanecieron sobre el nivel. Las curvas diurnas mostraron valores mínimos alrededor del amanecer o a veces una hora o algo más tarde. Las temperaturas permanecieron bajas de una a tres horas después del amanecer y luego subieron durante el día para alcanzar un valor máximo cerca de las 15 a las 16 horas. A las 18 horas habían bajado sólo ligeramente. A continuación tenía lugar un descenso considerable hasta aproximadamente las 22 horas y luego la disminución era mucho más gradual hasta la mañana siguiente. Esto significa, a juzgar por los datos de Nutman

y Roberts, que temperaturas desde el anochecer hasta las 22 horas eran favorables para la germinación, mientras que en las tres primeras horas de la madrugada eran inferiores del valor mínimo. Por lo tanto, aun tomando en cuenta el estímulo por el frío encontrado por estos investigadores, contrario a lo que propusieron, pareciera muy poco probable que la germinación pudiera tener lugar a esa hora. Más tarde en la mañana, cuando las temperaturas alcanzan su valor óptimo para la germinación, la humedad es relativamente baja, a menudo aun hasta cuando llueve; cuando las salpicaduras de lluvia alcanzan el envés foliar, pueden evaporarse rápidamente impidiendo así la germinación (véase p. 32). aun cuando las intensidades de luz sean lo suficientemente bajas para no inhibirla. En realidad, aunque se mantenía la humedad a un nivel alto mediante el uso de protectores de polietileno, el autor raras veces encontró en el campo germinación durante las horas del día.

Las observaciones del autor también indicaban claramente que la germinación que comenzaba a las 18 horas no sólo continuaba después de las 22 horas sino que, aunque las esporas no fueran mojadas antes de las 22 horas, la germinación también tenía lugar invariablemente y alcanzaba los mismos niveles a las 8 horas del día siguiente, hasta con un 56 por ciento del total de las esporas germinando. Como los niveles de baja temperatura que existen entre el anochecer y las 8 horas y el período corto disponible (menos de 2 horas) hacen bastante improbable que alguna germinación pudiera haber ocurrido en este período, es de suponer que la germinación debe haber ocurrido después de las 22 horas cuando las temperaturas, según el criterio de Nutman y Roberts, raras veces son lo suficientemente altas. Así pues, en la semana de observaciones, las temperaturas fueron inferiores a 17°C durante toda la noche, en 5 noches y superiores solamente en 3 horas en una noche y por 5 horas en otra noche. De esto pareciera desprenderse que los resultados de laboratorio de Nutman y Roberts pueden no ser una buena guía de lo que puede suceder en el campo.

La exposición anterior hace evidente que los efectos ambientales sobre la germinación son complejos y que existen interacciones fuertes entre los diferentes factores involucrados. Por esa razón es imprudente llegar a conclusiones definitivas con respecto a lo que ocurrirá en el campo partiendo de observaciones hechas en el laboratorio sobre los efectos de factores relativamente sencillos tales como niveles constantes de temperatura. Tales deducciones deben compararse cuidadosamente con observaciones de campo y mucho más trabajo sobre germinación en el campo debe llevarse a cabo antes de que se puedan efectuar generalizaciones satisfactorias.

Mientras tanto se postularán las siguientes deducciones tentativas. En las áreas del East Rift en Kenia, donde la roya es importante, la germinación probablemente es más fomentada por condiciones como las que existen alrededor del crepúsculo y durante las primeras horas de la noche. También puede tener lugar después de las 22 horas, pero la germinación se vuelve menos probable con el avance de las horas de la noche, cuando las temperaturas bajan. Existe evidencia de que la intensidad lumínica en el envés de las hojas no sea durante el día lo suficientemente alta para inhibir la germinación. Esta podría ocurrir si la humedad fuera suficientemente alta y otros factores fueran tales como para evitar la evaporación de las gotitas de lluvia salpicadas; pero es poco probable que estas condiciones se presenten con frecuencia. Sin embargo, si se cumplen estas condiciones, a cualquier hora del día podría haber temperaturas favorables, con excepción de las primeras dos o tres horas después de amanecer. Es muy probable que las condiciones específicas existan en la mañana o avanzada la tarde, mientras que las temperaturas entre las 14 y las 16 horas exceden frecuentemente, pero no siempre, los niveles que según las investigaciones de Nutman y Roberts, aparentan ser las más favorables.

En áreas de mayor altura, la ausencia o el bajo nivel de ataques de roya posiblemente podrían relacionarse con los bajos niveles de temperatura durante las noches, lo que reduciría el número de oportunidades en las cuales podría ocurrir la germinación. Por el contrario, una disminución de la altura significaría tanto una mayor frecuencia de noches

con temperaturas óptimas, como también un mayor número de horas en tales noches cuando podría ocurrir la germinación. Así, aunque tuviera lugar la germinación durante las horas del día bajo condiciones naturales en un grado apreciable, su importancia relativa probablemente disminuiría rápidamente con una reducción de la altura. Por lo tanto, es posible que uno de los factores que contribuyeron a la severidad de esta enfermedad en Ceilán fuera el clima insular, que ofrece temperaturas relativamente altas durante la noche y en consecuencia una alta incidencia de ocasiones en que puede haber germinación.

### Viabilidad de Esporas

Los trabajos más antiguos varían considerablemente con respecto al tiempo durante el cual las uredósporas pueden retener su viabilidad. Investigaciones más recientes, sin embargo, han explicado cómo han podido ocurrir estas variaciones, puesto que demostraron que la viabilidad es seriamente afectada por un número de factores distintos. Este tópico es de mucho interés debido a sus repercusiones sobre epidemiología, método de diseminación y control.

Ward (1881) encontró que esporas mantenidas secas en un tubo herméticamente sellado, eran capaces de germinar aún después de 6 semanas. Bürk (1889) también reportó que esporas secas tenían su viabilidad por un tiempo considerable, aun cuando fueran expuestas a la luz directa del sol. Lesiones en esporulación podrían ser dejadas por muchas horas directamente al sol, hasta que la hoja hospedante estuviera completamente disecada, sin pérdida de viabilidad. Sin embargo, cuando las esporas se dejaban en agua cerca de una ventana por tan poco tiempo como 1-1/4 a 1-3/4 de hora, no germinaban más al ser colocadas en la oscuridad. Esporas de lesiones provenientes de hojas que se habían caído al suelo raras veces pudieron ser inducidas a germinar. Bürk señaló que si había esporas en el haz de tales hojas, entonces morirían debido a la exposición de la luz tan pronto como quedaran mojadas debido a la lluvia, mientras que si estaban sobre el envés de las hojas germinarían pronto debido a la humedad reinante y eventualmente morirían. El consideró que lesiones en hojas caídas al suelo representaban poco peligro en cuanto a la diseminación de la enfermedad. A pesar de sus conclusiones, muchos fitopatólogos posteriormente recomendaron la recolección y destrucción de hojas caídas. Sadebeck (1897), contrario a Ward y Bürk, encontró que la facultad de germinar se había perdido ya en esporas secas en tan corto tiempo como dos días. El también encontró que las esporas de hojas secas y caídas habían perdido su capacidad de germinar. Sin embargo, Carruthers (1904) notó que esporas expuestas a la luz solar sobre un portaobjeto permanecieron viables. Mayne (1932b) reportó que había, en relación a la viabilidad, una viabilidad considerable entre lotes de esporas almacenadas durante 4 días en tubos de vidrio, pero que no se pudo lograr germinación alguna después de un almacenaje de 6 meses en el laboratorio bajo condiciones de humedad mediana.

En 1956 George confirmó la observación anterior de Bürk de que las esporas de hojas caídas no podían representar un papel importante en la iniciación de una infección en fecha posterior; él encontró que esporas almacenadas en seco perdían su viabilidad después de un mes. El mismo autor encontró también que esporas provenientes de lesiones recientes daban un porcentaje de germinación más alto que las de una de mayor edad.

En pruebas llevadas a cabo en la Estación de Investigaciones de Café, Ruiru, Kenia (Reportes Anuales 1957-58 y 1958-59) por la Sra. Nicholls, se averiguó que esporas de las razas I y II almacenadas en un tubo de ensayo en la oscuridad no mostraron un porcentaje de germinación mayor que en un tubo similar, mantenido a la luz en el laboratorio; pero la viabilidad decreció durante un período de 23 días. Normalmente las esporas permanecían viables en el laboratorio a intensidades normales de luz durante 3 a 4 semanas, pero la exposición a luz solar fuerte las mató dentro de 48 horas.

Nutman y Roberts (1963) llevaron a cabo trabajos detallados sobre los factores que afectan la viabilidad de las esporas. Encontraron que esporas colocadas sobre hojas, cuando se mojan aun por un período tan corto como de 6 minutos (el tiempo que se necesitaba para mojarlas y disecarlas de nuevo), y luego se secaron por 5 minutos y después se mojaron otra vez, el porcentaje de germinación se reduciría notablemente, observándose valores del 37,1 al 5,4 por ciento en la reducción. El efecto no fue mucho más acentuado cuando se extendió el período seco a 15 minutos ni cuando la mojadura preliminar se extendió hasta una hora. Parece que el efecto se debe al comienzo de la germinación, ya que no ocurre cuando existe una alta concentración de esporas, condición que inhibe la germinación de esporas. Cuando se preparó una suspensión muy concentrada de esporas y se dejó en reposo por una hora, luego se centrifugó y se secó la masa de esporas así obtenidas, entonces al asperjarlas sobre discos de hojas el porcentaje de germinación fue prácticamente el mismo que hubiera obtenido asperjando una parte de la suspensión original inmediatamente después de su preparación. Experimentos mojado esporas sobre una película de agar en lugar de sobre una superficie foliar, dieron resultados similares, aunque no tan claros, probablemente porque tales películas no se secan uniformemente y son difíciles de mojar otra vez. Sin embargo, demuestran que el efecto es independiente de cualquier influencia por parte de la hoja. Estas observaciones indican que después de un aguacero cualquier espора que no haya sido mojada el tiempo suficiente para germinar, no sobrevivirá hasta que nuevamente haya condiciones apropiadas de humedad. Esto también se refiere a esporas en pústulas que han sido mojadas por salpicaduras de lluvia, según Nutman y Roberts (1962a), aunque esta afirmación parece estar en conflicto con sus propias observaciones con suspensiones concentradas de esporas.

En estudios detallados sobre el efecto del tiempo sobre la viabilidad, Nutman y Roberts (1963) recolectaron en el campo hojas con pústulas esporulando fuertemente; las esporas fueron transferidas en una caja Petri y mantenidas en luz difusa sobre la mesa del laboratorio. Las hojas fueron colocadas en un recipiente de vidrio cerrado por 24 horas y la cosecha de nuevas esporas recolectada en otra caja Petri. De ambas cajas se tomaron

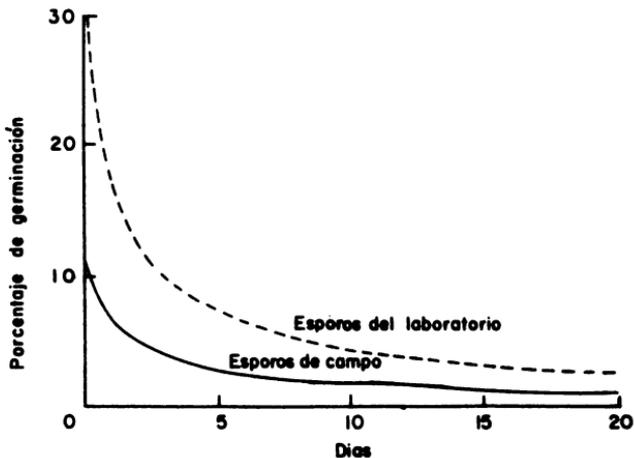


Figura 6. Efecto del envejecimiento de uredósporas sobre la viabilidad. (Según Nutman y Roberts, 1963).

alícuotas a intervalos, se suspendieron en agua y luego fueron atomizadas sobre placas de agar de papa-dextrosa; luego se incubaron y se contaron para determinar el porcentaje de germinación después de 5 horas. Ocurrió una recarga rápida con el tiempo. Los lotes de esporas producidas en el campo dieron un porcentaje de germinación inferior; pero cuando se trazaron curvas del transcurso del decaimiento de la germinación, expresado como porcentaje de la germinación inicial las curvas fueron muy similares. Se calcularon las siguientes ecuaciones de regresión para las curvas:

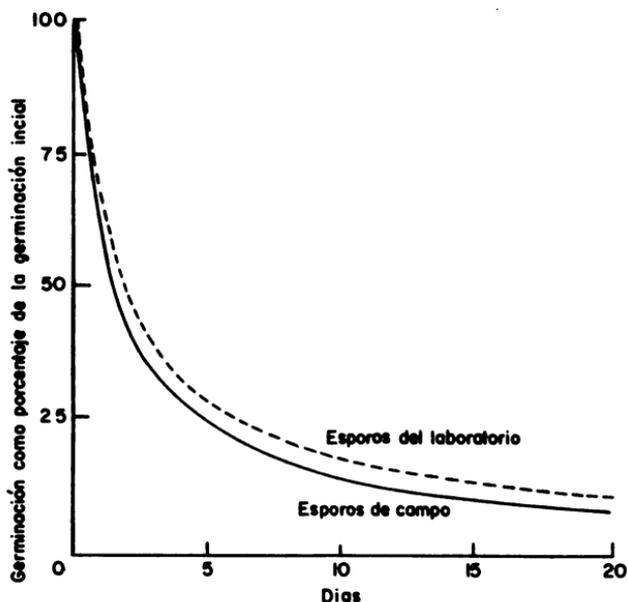


Figura 7. Efecto del envejecimiento sobre la pérdida en porcentaje de viabilidad. (Según Nutman y Roberts, 1963).

Y (porcentaje de germinación)

$$= 29,7 (x + 1)^{-0.809} \text{ para esporas formadas en el campo.}$$

$$= 10,7 (x + 1)^{-0.712} \text{ para esporas producidas en el laboratorio}$$

donde x = número de días de almacenamiento.

La germinación inicial se redujo por lo tanto a la mitad después de dos días. Nutman y Roberts enfatizaron la importancia que esta pérdida rápida de la viabilidad podía tener sobre la propagación de la enfermedad. Los resultados quizás conduzcan a la idea de que solamente un inóculo muy fresco podría ser de algún valor para fines de la inoculación artificial. Sin embargo, es práctica común el enviar mediante correo hojas disecadas con pústulas desde África a Europa; y que las esporas aún estén capacitadas de producir infecciones cuando son inoculadas, aun hasta un mes después de su recolección; tales inoculaciones, como debe recordarse, implican un número muy grande de esporas.

Frecuentemente en una pústula vieja las esporas periféricas son anaranjadas, mientras que las del centro son blancuzcas. Nutman y Roberts comprobaron que este efecto no se debe al envejecimiento *in situ*, puesto que si se removieran todas las esporas, las nuevas esporas formadas en el centro también serían blancuzcas. Estos autores encontraron que las esporas del centro tenían un porcentaje de germinación muy bajo, 0 – 3 por ciento comparado con 35 – 55 por ciento para esporas de las regiones periféricas de las mismas lesiones. Puesto que una pequeña porción de esporas también son coloreadas en el centro de la lesión, Nutman y Roberts concluyeron que las esporas incoloras son incapaces de germinar.

### **Crecimiento del Tubo Germinal y Formación del Apresorio**

Aparte de descripciones muy generalizadas, el crecimiento del tubo germinal ha recibido muy poca atención. Ward (1882b) encontró que el crecimiento era menos vigoroso sobre una placa de vidrio o sobre el haz de una hoja de café que sobre el envés, pero que se extendía y ramificaba más. Von Faber (1910) encontró que si esporas germinaban sobre superficies foliares en gotitas de agua y éstas se mantenían grandes mediante adición de agua, se producían tubos germinales largos y delgados y no se formaba apresorio. La única investigación cuantitativa parece ser la del autor sobre el efecto de la luz, y ya fue descrita (véase p. 33).

Es experiencia del autor que la formación de apresorios no es común cuando la germinación tiene lugar sobre una superficie de vidrio, aunque sí puede ocurrir; quizás se vea con más frecuencia cuando las gotitas o películas de agua son poco profundas. Aun en el envés de las hojas solamente una parte de los tubos germinales producen normalmente apresorios. El porcentaje más alto observado por el autor fue de 68 por ciento, pero el promedio fue de un 25 por ciento. Esto está muy de acuerdo con la cifra de 24 por ciento observada en un estudio reportado por Nutman y Roberts (1963); pero estos autores dieron adicionalmente una cifra de 14 por ciento de tubos que habían penetrado estomas sin la formación de un apresorio.

El autor ha estudiado el progreso de la formación de apresorios en relación con el tiempo de incubación de las esporas (Rayner 1961c). Se pensó que una curva sigmoide era aplicable. Pero no se disponía de suficientes datos para una conclusión final. A 23°C, mediante extrapolación, se obtuvo en uno de los experimentos evidencia para un período mínimo de 4½ horas para el comienzo de la producción de apresorios; pero en un segundo, el tiempo resultó ser 7½ horas. En este último, el 50 por ciento del número total de apresorios fueron producidos en 8½ horas y el 95 por ciento en 10 horas.

Nutman y Roberts (1963) consideraron que el progreso de la formación de apresorios con el tiempo era lineal a esta suposición. La misma cabe aplicarse que a la similar para la germinación, comentada en la página 28. Estos autores siguieron el efecto de temperatura sobre el porcentaje de esporas que germinan formando apresorios sobre discos foliares; encontraron una relación similar a la reportada para la germinación misma. La curva de respuesta fue bimodal, con máximos cerca de 21,5°C y 25°C.

El autor estudió la formación de apresorios en los mismos experimentos para la germinación de esporas que se describieron anteriormente (véase p. 36). Se encontró que los apresorios eran producidos antes de las 8 horas de la mañana cuando las esporas habían sido mojadas a las 18 horas de la noche anterior; en tres pruebas fue suficiente humedecimiento entre las 22 y las 8 horas para su formación. A juzgar por las observaciones en el laboratorio, se requeriría por lo menos un período de 3 a 4 horas de condiciones húmedas antes de amanecer para que se formen los apresorios a esta hora; esto significa que la caída de lluvia después de las 2 horas sería efectiva. En realidad, si se consideran las relaciones de temperatura encontradas por Nutman y Roberts, más bien parece probable que la lluvia

debiera caer más temprano. Por otro lado había evidencia de que la formación de apresorios podía continuar durante el día siguiente, si se mantuvieran las condiciones húmedas. Así, si la lluvia cayera más tarde y si las condiciones de humedad continuaran después del crepúsculo, la germinación, seguida por la formación de apresorios después del amanecer, podría quizás ocurrir. Esta probabilidad requiere más investigación.

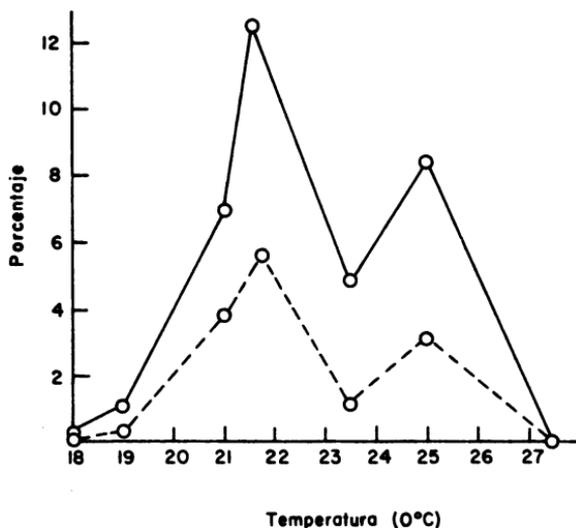


Figura 8. Efecto de temperatura sobre la formación de apresorios en discos de hojas, 70.000 esporas. (Según Nutman y Roberts, 1963).

## Infección

Abbay en 1878 fue el primero en intentar la infección de hojas al colocar sobre ellas uredósporas y micelio; sin embargo, él no tuvo éxito y fue Ward quien logró la primera infección experimental. Él construyó una cámara de inoculación especial para mantener una gotita de agua, que contenía las esporas, sobre la superficie foliar sin que se evaporara. Esta cámara consistió en un pedazo de papel absorbente mojado con un pequeño hueco cortado en su centro y colocado sobre la hoja de café. La gotita conteniendo las esporas se puso en el centro del área expuesta por el hueco en el papel absorbente; se cubrió con un anillo de vidrio y un cubreobjeto. El papel absorbente se mantuvo húmedo mediante un chorrito de agua en un sifón. Ward encontró que se obtenía infección al dejar la gotita en su lugar durante 48 horas. Se podían infectar hojas de cualquier edad; sin embargo, la esporulación ocurría más temprano y era más abundante cuando se empleaban hojas jóvenes. Él podía detectar la presencia de micelio en las hojas dentro de un lapso de tres o cuatro días después de la inoculación.

Más tarde (1882b) Ward reportó que se formaban apresorios sobre estomas en tan poco tiempo como 12 a 14 horas. No se llevaron a cabo experimentos exactos para determinar el período mínimo en el que puede tener lugar la infección; sin embargo, en varios informes del trabajo de Ward se ha creído erróneamente que él indicó 12 horas como el tiempo mínimo en el cual podría tener lugar la infección. Bürk (1889) hizo esta conjetura pero argumentó, con base en observaciones hechas en el campo, que realmente debiera ocurrir en un tiempo más breve, pues las hojas raramente permanecen húmedas por suficiente tiempo como para que tenga lugar la infección. El encontró que la germinación podía ocurrir en tan poco tiempo como 2 horas y 20 minutos y pensó que la penetración podía ocurrir poco tiempo después. A pesar de esto, pensó que solamente las hojas muy jóvenes podían permanecer mojadas por tiempo suficiente, después de una noche lluviosa, para que ocurriera infección. Observaciones con respecto a la edad de la hoja, cuando lesiones jóvenes se tornan evidentes primeramente, confirmaron esta conclusión. Solamente cuando ocurrieron rocíos fuertes hubo excepción a esta regla.

Los estudios de Ward demostraron que la penetración siempre ocurría vía una estoma y que era precedida por la formación de un apresorio. Puesto que en hojas de café existen estomas solamente en el envés, la conclusión lógica es que las infecciones pueden tener lugar sólo en este lado de la hoja. Ward, sin embargo, encontró que si la epidermis era removida de la superficie superior de la hoja, crecían germinales directamente en el mesofilo. Von Faber (1910) confirmó que, aunque las esporas pueden germinar igualmente bien en ambas caras de la hoja, la infección sólo ocurría cuando eran colocadas sobre el envés de las hojas.

Estudios exactos del tiempo en el cual ocurre la penetración y su relación con factores ambientales no se hicieron sino hasta hace relativamente muy poco: fueron iniciados por el autor en 1954 (Rayner 1961c), cuando se llevaron a cabo inoculaciones durante un período de 12 meses en arbustos en el campo en Ruiru, Kenia. Pequeñas gotas de agua fueron colocadas cerca del nervio central en los ángulos con los nervios laterales principales y un número considerable de esporas secas transferidas a sus superficies. Las hojas fueron ligeramente rociadas con agua y encerradas conjuntamente con una parte de la rama sobresaliente y hojas vecinas en una bolsa de polietileno. Las inoculaciones se llevaron a cabo en tres árboles de bajo rendimiento y tres de alto rendimiento. En cada rama se inocularon dos hojas jóvenes y dos adultas, habiendo alcanzado las primeras su tamaño casi o completamente definitivo, pero todavía reteniendo su brillante apariencia juvenil. En el porcentaje de inoculaciones no se pudo detectar con éxito diferencia alguna entre árboles de alto y bajo rendimiento o entre hojas jóvenes y adultas. En un segundo experimento, en el cual se inocularon hojas jóvenes, de mediana edad, y adultas en cada rama, tampoco pudo detectarse diferencia alguna en el porcentaje de infección lograda. En numerosas inoculaciones en el invernadero para la determinación de razas o susceptibilidad varietal, en las que se recogieron esporas secas con un pincel saturado con agua y se esparcieron sobre la superficie foliar, la que fue luego ligeramente rociada con agua, no se encontró dificultad alguna en infectar hojas adultas de cualquier edad u hojas jóvenes que se aproximaban ya a su tamaño adulto. Se encontró que fue bastante difícil inocular hojas muy jóvenes, con un tamaño menor de 5 cm. Esto probablemente se debía a su superficie que repele fuertemente al agua, lo que impedía extender bien el inóculo y hacía difícil una distribución uniforme de gotitas de agua mediante atomización. En el campo se observaron infecciones naturales en hojas de todas las edades, con excepción de aquellas de apariencia todavía (brillante) juvenil. Esta apariencia juvenil se pierde a una edad entre 5 y 23 semanas. Puesto que el período de incubación es en promedio de 5 semanas, se puede deducir que la infección natural puede ocurrir mientras las hojas estén todavía brillantes, pero no antes de que hayan alcanzado su tamaño casi adulto. Mayne (comunicación privada), en estudios sobre la edad de hojas en las cuales ocurre en el campo la infección, encontró evidencia de que las hojas más jóvenes no son propensas a la infección y consideró que esto se debía a la dificultad para mojarlas.

D'Oliveira ha encontrado (comunicación personal) en su trabajo, efectuado bajo condiciones de invernadero, que el estado en el cual las inoculaciones tenían mayor éxito, es cuando las hojas estaban casi o completamente desarrolladas, pero aún con apariencia brillante. El encontró difícil inocular hojas viejas. Su técnica consistía en transferir esporas secas a la superficie foliar sobre la navaja de un escalpelo o en un pincel seco, para distribuir las luego en estado seco sobre la superficie, la cual era luego ligeramente rociada. Más recientemente el autor, mientras trabajaba en Kew, Inglaterra, también encontró que inoculaciones en hojas completamente adultas o viejas no tenían éxito. Butt (comunicación personal) también reportó mayor susceptibilidad en hojas jóvenes, lo que se nota especialmente cuando se emplea una concentración baja de esporas. Nutman y Roberts (1963) encontraron que el porcentaje de germinación de esporas es más alto en hojas jóvenes, casi completamente desarrolladas, que en hojas adultas o viejas (véase p. 36). Tal efecto sólo se reflejaría mediante diferencias en la susceptibilidad relativa si la concentración de inóculo vivo fuera baja y esto podría explicar las diferencias que se han observado. Nutman y Roberts señalaron que bajo condiciones de campo, la concentración del inóculo probablemente con frecuencia es lo suficientemente baja para que las diferencias en porcentajes de germinación sean críticas en determinar si hojas viejas pueden o no ser infectadas. Se puede concluir que las hojas nuevas, casi o completamente desarrolladas, son probablemente las más susceptibles y las más frecuentemente infectadas bajo condiciones de campo; esa susceptibilidad decae con el avance en edad y la infección en hojas muy jóvenes es probablemente baja o sin importancia debido a las propiedades físicas de su superficie.

Nutman y Roberts (1963) estudiaron los efectos de algunas variables sobre la infección, con base en la formación de lesiones bajo condiciones de laboratorio. La inoculación se hizo siempre aplicando esporas bien mojadas mediante atomización sobre las hojas por medio de un lápiz "Aerógrafo", método sujeto a crítica, tal como se indicó en la página 29. La relación entre el número de lesiones formadas y temperatura en luz difusa fue similar a la encontrada para el efecto sobre la germinación, aunque el rango fue un poco más reducido. Existió un óptimo a 22°C y no hubo tendencia bimodal, probablemente debido a que la concentración del inóculo se mantuvo alta.

Debe anotarse en ésta y en la experimentación siguiente, que la relación entre condiciones ambientales y el proceso global de infección desde la germinación hasta la penetración, fue evaluada y que no se intentó determinar los efectos sobre los diferentes estados de desarrollo del proceso. Por eso, si los factores que afectan la germinación fueron limitantes, los de estados posteriores estarían enmascarados. Así el óptimo para el proceso de penetración podría ser diferente del mencionado anteriormente para la infección completa.

Se investigó el efecto sobre el porcentaje de inoculaciones con éxito en relación al tiempo que se dejó el inóculo en contacto con la hoja bajo condiciones de intensidad lumínica baja (aproximadamente 10 lux) comparado con la oscuridad. La relación fue lineal, siendo la tasa de aumento mayor en la oscuridad. Con el tiempo más corto de exposición que se empleó, o sea de 5 horas, el porcentaje de infección logrado fue ligeramente más bajo en la oscuridad; a las 12 horas fue casi el doble.

Este comienzo más temprano de la penetración en la luz podría deberse a que se estimula a pocos tubos germinales para que penetren las hojas más tempranamente, mientras que la mayoría tarda más. La interpretación de Nutman y Roberts es que esto se debe al efecto similar sobre la germinación que ellos observaron a temperaturas más bajas (véase p. 34). Por lo tanto, sería de esperar que el efecto sobre la penetración ocurriera igualmente sólo a temperaturas más bajas, pero no se ofreció información sobre este punto.

El efecto del número de esporas presentes en una gotita de infección sobre el porcentaje que produce infección, fue examinado mediante la recolección de esporas sobre la punta de una aguja y transfiriendo un número específico a una gotita de agua (no se indicó el tamaño) sobre el envés de una hoja, la que fue luego incubada con esta cara hacia arriba.

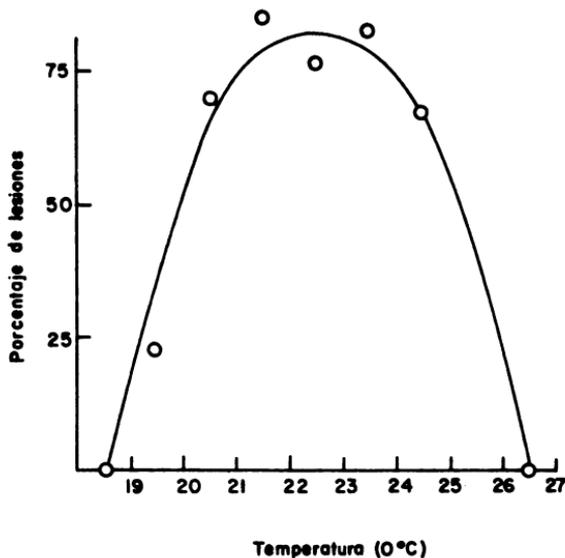


Figura 9. Efecto de temperatura sobre la producción de lesiones. (Según Nutman y Roberts, 1963).

Los resultados aparecen en el Cuadro 3 y muestran que aun con tantas esporas como 10 a 20 por gotita, se producían lesiones sólo relativamente raras veces mientras que en un número no especificado de casos, cuando se colocaron aproximadamente 150 esporas en la gotita para la inoculación, alrededor del 90 por ciento de las inoculaciones producían lesiones.

Cuadro 3. Efecto del número de esporas por gotita sobre el porcentaje de inoculaciones y porcentaje de esporas que producen lesiones.

Número de esporas por gotita	Número de inoculaciones	Porcentaje de inoculaciones que produjeron lesiones	Porcentaje de esporas que produjeron lesiones
1	591	0,3	0,30
2	502	0,0	0,00
4 a 5	150	1,3	0,29
10 a 20	534	1,6	0,13
150 aprox.	?	90 aprox.	0,6

Nutman y Roberts señalaron que en parte, esto podía atribuirse al bajo porcentaje de tubos germinales que penetran las hojas, aun bajo condiciones óptimas (véase p. 42). Se hace evidente que este factor por sí solo no es suficiente para explicar las pocas lesiones que resultan de inoculaciones con 10 a 20 esporas por gotita, y estos autores dedujeron que se requiere la penetración efectiva de cierto número de esporas muy próximas, una cerca de otra, antes de que se puedan desarrollar los síntomas de la enfermedad. Ellos consideraron que las esporas individuales no pueden producir lesiones y que el 0,3 por ciento que aparentemente lo hizo en sus pruebas, fue debido muy probablemente a una mala manipulación durante la transferencia de esporas. Para apoyar sus deducciones Nutman y Roberts citaron resultados que se dice fueron publicados por Bock (1962a), que muestran que se requiere una alta concentración de esporas sobre la superficie para la infección. Aunque el trabajo de Bock referido trata sobre la concentración de esporas que se observaron en condiciones de campo, no ofrece datos sobre su capacidad de producir infección con excepción de una simple mención de estudios preliminares, que mostraban que la densidad óptima está comprendida entre 15 y 30 esporas por  $\text{cm}^2$ . Este podría ser el mismo trabajo que fue reportado apenas en bosquejo en 1962c por Nutman y Roberts, en el cual las hojas fueron rociadas con diferentes concentraciones de suspensiones de esporas. Las suspensiones más concentradas produjeron numerosas infecciones, mientras que las más débiles, aunque dejaron sobre cada hoja muchos centenares de esporas comparativamente muy distanciadas, no produjeron lesión alguna.

Sin embargo, otros investigadores han encontrado que una pequeña pero definida proporción de inoculaciones con esporas individuales puede producir lesiones. Por ejemplo, el autor encontró una lesión que resultó de una inoculación con una espora en hojas todavía prorrindidas de plantas sembradas en macetas, una vez en diez pruebas. Mayne (comunicación personal) logró obtener infecciones de esporas individuales en un número reducido de pruebas. Butt (comunicación personal) también reportó en Uganda inoculaciones con una espora que tuvo éxito. Hislop (comunicación personal), utilizando una técnica en la cual las esporas fueron primeramente germinadas sobre una superficie de agar y de las cuales solamente las que produjeron tubo germinal fueron separadas y transferidas a discos de hojas jóvenes de café, obtuvo 3 lesiones de 100 transferencias de la raza I y II en 100 transferencias de la raza II. Usando discos de hojas viejas o de edad media, él no encontró lesiones en 100 transferencias de cada una de las dos razas, con excepción de un caso con la raza I en hojas viejas.

Al comentar sus resultados, Nutman y Roberts parecen no haber tomado en cuenta la posibilidad de que solamente una parte de los tubos germinales que penetran la hoja pueden sobrevivir para producir lesiones. En realidad, en variedades de café resistentes se ha podido demostrar que la penetración sí ocurre, pero ninguna de las infecciones resultantes esporulan (Mayne 1933). Además, en variedades muy susceptibles se produce un número mucho mayor de lesiones a partir de la misma cantidad de inóculo que en las menos susceptibles (Rayner 1960b). En realidad es notable que aunque se inoculen hojas de variedades susceptibles con una suspensión de concentración alta de esporas, se produce solamente un número muy reducido de lesiones. Según la experiencia del autor es excepcional obtener tantas como 5 lesiones por centímetro cuadrado, y es más frecuente obtener sólo una o menos. Sin embargo, el autor también ha encontrado que inoculaciones similares resultan en una producción abundante de apresorios, siendo una estimación de orden aproximado de 50 por centímetro cuadrado. La casualidad de que un solo apresorio produjera una lesión, sería del 1 al 10 por ciento. Las posibilidades de que una sola espora de un lote, el cual muestra una germinación del 70 por ciento y del cual el 26 por ciento produzca apresorios (véase p. 42), serían de 0,2 al 1,7 por ciento; estas cifras son de la misma magnitud que las encontradas por Nutman y Roberts y rechazadas por ellos como debidas probablemente a errores en la manipulación.

Es interesante hacer constar que en el caso de otra roya, *Puccinia graminis*, el porcentaje de esporas viables que pueden producir lesiones con esporulación (uredios), también es bajo. Por ejemplo Petersen (1956) encontró que sólo una lesión se formaba por cada 100 uredósporas viables, que es de la misma magnitud que las cifras observadas por Hislop para *Hemileia vastatrix*.

Si una sola espora por gotita tiene una probabilidad definida, aunque pequeña, de producir una lesión, entonces es de esperar que las gotitas que contienen varias esporas, produzcan con más frecuencia lesiones en proporción al número de esporas presentes en ellas, según la ley de adición de probabilidades. Solamente cuando el porcentaje que produce lesiones se incrementa más rápidamente de lo que se podría esperar según esta ley, existe evidencia de que la proximidad de penetración aumenta la probabilidad de la formación de lesiones. Este efecto ha sido investigado en el Cuadro 3, al relacionar el porcentaje de inoculaciones que producen las lesiones con el número de esporas contenidas, o sea por división del porcentaje de gotitas que producen lesiones por el número de esporas por gotita, para obtener el porcentaje de esporas que producen lesiones, dado en la última columna. Es evidente que los números obtenidos no difieren significativamente, aun el cero obtenido de gotitas que contienen dos esporas podría observarse por casualidad una vez en menos de 20 pruebas similares. Es cierto que la cifra de gotitas que contienen 150 esporas es bastante alta, pero es solamente una aproximación. Se podría esperar cierto aumento en la eficiencia de gotitas que contienen tan alto número de esporas, aunque sea sólo por razones mecánicas. La mayoría de las esporas de *Hemileia vastatrix*, bajo condiciones normales, flotan sobre la superficie del agua y tienden a colocarse a la mayor distancia de la periferia de una gotita de forma hemisférica. Los tubos germinales, para que alcancen un estoma, deben crecer primeramente alrededor de la superficie de la gotita. Así los tubos de esporas individuales o de un grupo pequeño de esporas tendrían que crecer de este modo la distancia máxima mientras que aquellos de los bordes de grupos más grandes de esporas tendrían que crecer una distancia menor y de este modo tendrían mayor probabilidad de encontrar un estoma y penetrar en él, antes de que se agote su capacidad de crecimiento. Tal efecto, si en verdad existe, disminuye con el tamaño decreciente de la gota de infección.

La mayor probabilidad de que un grupo de esporas produzca lesiones en comparación con una sola espora, tal como lo demuestran los datos de Nutman y Roberts, pareciera por lo tanto explicarse adecuadamente como una simple adición de las probabilidades individuales de las esporas contenidas en la gotita; la evidencia no apoya la idea de un efecto sinérgico resultante de la proximidad de penetración. Pareciera que existe una probabilidad definida, aunque pequeña, de que una sola espora produzca una lesión, no afectada por el hecho de que su tubo germinal penetra o no al hospedante muy cerca de los tubos de otras esporas, contrario a lo que han sugerido estos investigadores.

Basándose en sus observaciones de laboratorio, Nutman y Roberts argumentaron que bajo condiciones de Kenia el factor temperatura hace en alto grado improbable que la germinación o penetración pueda ocurrir durante la noche. Ellos consideraron que si las esporas son esparcidas por la lluvia después del amanecer, la infección normalmente sería poco probable durante la mañana, pero que las temperaturas durante la tarde a veces lo podrían permitir. Sin embargo, si fueran dispersadas antes del amanecer, la germinación acelerada y estimulada por el estímulo del frío muy probablemente permitiría la infección durante las pocas horas después del amanecer, cuando prevalecen temperaturas adecuadas. Estos autores concluyeron de sus observaciones, que bajo condiciones ideales tales como máxima concentración de esporas recién liberadas, su depósito cerca de los bordes de hojas jóvenes, y con las temperaturas cerca del óptimo por 3½ horas (el tiempo mínimo en el cual Nutman y Roberts observaron formación de apresorios), se podría iniciar muy ocasionalmente una lesión en el campo. Si las esporas hubieran sido anteriormente expuestas al frío mientras estaban mojadas, aumentarían las probabilidades de una iniciación de lesiones.

Como se indicó anteriormente (p.36-39) las conclusiones que estos investigadores sacaron de sus estudios de laboratorio con respecto a las posibilidades de que ocurra la germinación y formación de apresorios durante la noche, no concuerdan con observaciones efectuadas por el autor en el campo. Esto también es cierto acerca del único estudio que ha sido reportado sobre el tiempo que se necesita para que tenga lugar la infección en el campo, el cual se llevó a cabo en Ruiru, Kenia, por el autor en marzo de 1957. El método fue similar al descrito en la p. y se hicieron inoculaciones a las 13, 18:30 y 22 horas en un día. Se mantuvieron húmedas hasta las 8 horas del día siguiente o hasta la misma hora un día después. El porcentaje que desarrolló lesiones de roya fue el siguiente:

#### Período húmedo

Iniciado	Terminado a las 8 horas	
lunes 13 horas	martes	20
lunes 18 horas	miércoles	3
		10,9%
	martes	5
	miércoles	18
		11,8%
Iniciado	Terminado a las 8 horas	
lunes 22 horas	martes	7
	miércoles	7
		7,0%
TOTAL	martes	11,0%
	miércoles	8,7%

Los resultados indican que el mantenimiento de condiciones de humedad desde las 22 hasta las 8 horas (10 horas en total) fue suficiente para permitir penetración y que no se manifestó ningún aumento de infección al prolongar las condiciones húmedas por otro período de 24 horas. Sin embargo, debe recordarse que es difícil mantener una cubierta constante de gotitas de agua en el envés de las hojas durante las horas del día, aun bajo condiciones lluviosas; las condiciones de tiempo al efectuar el experimento eran secas aunque principalmente oscuras.

Los datos son inadecuados para efectuar una comparación válida entre los tres tiempos de inoculación; sin embargo, muestran claramente que la infección puede tener lugar durante la noche. Esto está de acuerdo con las observaciones sobre la formación de apresorios descritas anteriormente (p. 42). En ambos casos el período en cuestión sí incluye aproximadamente 1-3/4 horas después de amanecer, pero este tiempo es tan corto, que en la mayor parte de los procesos de infección ésta debía haberse completado antes.

En vista del conflicto entre lo que se espera de los resultados de laboratorio por Nutman y Roberts, y las observaciones de campo hechas por el autor, no se deben sacar conclusiones definitivas sobre las condiciones necesarias para la infección y la duración del tiempo necesario hasta que se lleve a cabo un número suficiente de estudios futuros sobre infección en el campo.

#### Período de Incubación

Ward (1881, 1882b) llevó a cabo un número considerable de inoculaciones en plantas de café de diferentes orígenes y en hojas de diferentes edades. En todos los casos un número relativamente grande de esporas secas fueron colocadas sobre una gota de agua en el envés de la hoja, impidiendo que se secaran colocándolas en una pequeña cámara húmeda (para

detalles véase p. 43). Se utilizaron plantas pequeñas en macetas, que se mantuvieron en cajas especiales (de Wardian), con una temperatura alrededor de 25,5°C. Las infecciones podían detectarse primeramente como áreas amarillentas, pálidas, después de 10 a 16 días de la fecha de inoculación, pero más frecuentemente a los 14 días. Las primeras esporas se observaban entre 1 y 4 días más tarde. En hojas jóvenes los primeros síntomas de infección podían apreciarse por término de los 10 a 11 días, mientras que se requerían 15 días para las hojas más viejas. Sin embargo, las hojas jóvenes pertenecían a plantas de diferente origen, en las cuales se inoculaban las hojas viejas, razón por la cual las diferencias podían deberse también a otros factores además de la edad de la hoja. Ward indicó que la misma diferencia se observaba cuando las hojas pertenecían a la misma planta, pero no ofreció datos reales para confirmar tal aseveración.

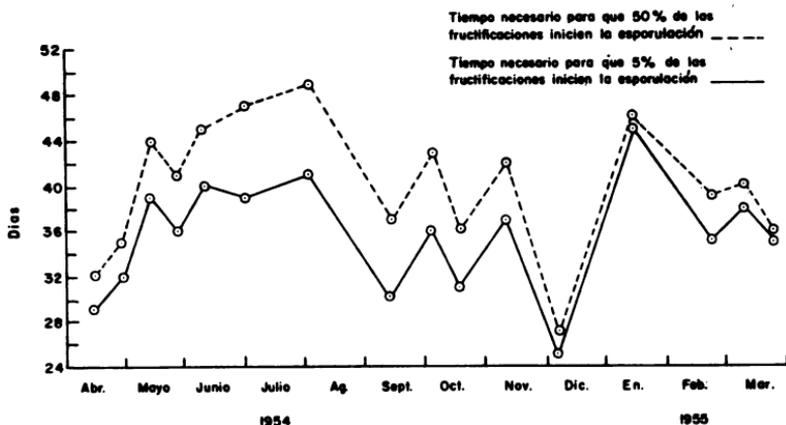
En observaciones de plantas inoculadas y también en hojas con infección natural en el campo, Ward encontró que la esporulación podía continuar de 7 a 16 semanas; probablemente duraba más tiempo, especialmente si la duración de la vida de las hojas no se reducía al existir más de una lesión. El también observó que la producción de esporas podía continuar después de la caída de la hoja.

Mayne (1932b) estudió en el laboratorio el período de incubación en hojas separadas. Manchas amarillentas podían notarse después de 7 a 12 días en café de la variedad Coorg (*arabica*) y después de 20 días en café Robusta, mientras que la formación de esporas comenzaba de 15 a 24 días y de 29 a 35 días respectivamente.

El autor (Rayner 1961c) llevó a cabo una serie grande de inoculaciones en condiciones de campo para determinar si existía alguna variación estacional en el período de incubación. Ya se ha descrito el método de inoculación (p. 44). Las observaciones se efectuaron en seis árboles, tres de éstos con poca cosecha y tres con cosecha abundante. Se hicieron inoculaciones a intervalos de 14 a 28 días a través de un año completo en dos hojas jóvenes y dos viejas de la misma rama. En algunas ocasiones sólo se producían manchas pálidas amarillentas, sin formación de esporas; así sucedió mayormente bajo condiciones de sequía, cuando el período de incubación era más largo. Las lesiones resultantes de inoculaciones en fecha dada no aparecieron simultáneamente; por eso se trazaron curvas para mostrar la relación entre la fecha de aparición y el número de lesiones que producían esporas en la misma fecha, expresado como porcentaje del número total que finalmente se desarrollaba. De estas curvas se estimaron los intervalos de tiempo necesarios para obtener una esporulación del 5, 50 y 95 por ciento. Según la época del año, la diferencia entre los puntos del 5 y 50 por ciento varió de 1 a 9 días, y entre los puntos del 50 y 95 por ciento, de 1 a 32 días. El tiempo necesario para producir máxima actividad de esporulación, se estimó aproximadamente en 6 a 13 semanas y la esporulación terminó en su mayor parte entre las 7 y 18 semanas cuando la caída de hojas no intervino.

El efecto de la época del año sobre el período de incubación de las lesiones varió de 25 a 45 días para que el 5 por ciento de lesiones produjera esporas, y de 27 a 45 días para el 50 por ciento. Con excepción del período anormalmente largo de incubación para la inoculación, el 12 de enero, el período más largo era durante los meses de mayo a setiembre, o sea los meses más frescos. No existió evidencia de que ni el porcentaje de inoculaciones que tuvieron éxito, ni el largo del período de incubación fueran afectados por la edad de la hoja o el volumen de cosecha de los árboles.

En varias ocasiones durante el período en el que se llevaron a cabo estas observaciones fue posible relacionar la producción de lesiones jóvenes que aparecieron en el campo con aguaceros aislados en una fecha anterior, y así deducir los períodos de incubación para infecciones naturales. Estos períodos variaron de 32 a 45 días y en la mayoría de los casos estaban muy de acuerdo con los resultados obtenidos en las inoculaciones artificiales.



Con vista en la relación aparente entre temperatura y duración del período de incubación, se calculó una regresión múltiple con los máximos promedios ( $X_1$ ) y promedios mínimos ( $X_2$ ) durante cada período. Estos valores se utilizaron en lugar de las temperaturas promedio, las que no caracterizan adecuadamente las variaciones estacionales en países tropicales. La ecuación obtenida fue:

$$Y = 90,61 - 0,408 X_1 - 0,440 X_2$$

donde Y era el período de incubación estimado para que un 50 por ciento de lesiones llegaran a esporular. La mayor discrepancia del valor estimado fue la del 12 de enero, período que fue mucho más extenso de lo esperado; posiblemente debido a la sequía. Períodos algo más cortos de los esperados durante épocas de lluvias fuertes y quizás se debieron a efectos opuestos a los de la sequía, fueron observados.

Los períodos de incubación observados en Kenia son considerablemente más largos que aquellos reportados por Ward y Mayne. Sin embargo, estimaciones basadas en la ecuación de regresión antes dada, para los niveles de temperatura que probablemente existieron cuando estos investigadores hicieron sus observaciones, dieron valores similares para el período de incubación en comparación con observados. Se puede concluir que la diferencia entre los resultados de Ward y Mayne y observados en Kenia se debe mayormente a la diferencia de los niveles de temperatura. Sin embargo, debe señalarse que los resultados de estos autores se refirieron a condiciones de laboratorio y quizás no sean representativos de períodos de incubación como podían esperarse en el campo en Ceilán y Mysore (India).

El autor obtuvo mucha información adicional sobre el período de incubación al efectuar pruebas de susceptibilidad varietal, tanto en plantas creciendo a la intemperie, como las cultivadas en el laboratorio, y en un invernadero. El rango observado osciló entre 19 y 63 días con la raza I (*sensu* D'Oliveira), y de 26 a 48 días para la raza II. Los períodos más largos para la raza I se encontraron en la variedad de café K 7, el cual es inmune a la raza II.

Se observaron diferencias considerables con respecto a períodos de incubación entre variedades, hasta 17 días con la raza II y 28 días con la raza I. Por lo general las variedades de café con períodos más cortos en una raza, tenían también períodos cortos en la otra. La magnitud de las diferencias varió con la variedad. Sin embargo, la variedad Amphillo presentó períodos más cortos que Harar con la Raza I, pero considerablemente más largos con la raza II. SL 34 presentó períodos más largos que cualquiera de las variedades anteriores con ambas razas. La alta susceptibilidad de la variedad Harar en el campo quizás se debe en parte a los períodos muy cortos de incubación sobre este hospedante presentado con ambas razas; sin embargo, el mayor número de lesiones que resultan del mismo grado de inoculación probablemente sea de mayor importancia.

Bock (1962b) efectuó en el campo en Kenia un estudio de la relación entre la incidencia de aguaceros y la primera aparición de manchas foliares consideradas incipientes, juzgadas como debidas a las infecciones resultantes. Aunque este método es difícil de aplicar en épocas como cuando los aguaceros caen seguidamente unos de otros o cuando el aumento resultante de infección es enmascarado por una abscisión fuerte, Bock reportó que, a pesar de todo, se obtuvieron datos notoriamente uniformes. El período promedio de incubación para la primera aparición de manchas incipientes visibles fue de 23 días; períodos ligeramente más largos o sea hasta de 27 días se observaron en tiempo fresco. En distritos bajos y más calientes del West Rift, los promedios fueron tan bajos como 20 días y se observaron períodos tan cortos como 18 a 19 días. Bock raras veces observó períodos mayores de 35 días, siendo el máximo de 42 días. Aunque los períodos encontrados por Bock son del mismo orden que los del autor, son claramente más cortos, aun cuando se considera que él reportó los primeros síntomas de una lesión, mientras que el autor citó el tiempo necesario para que un 5 por ciento comenzara a esporular. La diferencia podría atribuirse a las diferencias pronunciadas de clima entre los años en los cuales se efectuaron las dos series de observaciones, y lo que se refleja en una marcada diferencia en la variación estacional de la incidencia de la roya, siendo ésta mucho más fuerte durante la primera parte del año en el cual Bock efectuó sus observaciones.

Cualquiera que sea el promedio o el período de incubación más frecuente en el campo, no existe duda de que a veces puede ser muy prolongado. El período máximo observado por el autor fue de 10 semanas a partir de una inoculación llevada a cabo en Kew, Inglaterra en enero. Existen algunas pruebas circunstanciales que sugieren la posibilidad de períodos hasta de 20 semanas (Rayner 1955).

### **Liberación de Esporas y Dispersión**

Parece que fue Thwaites, según Thiselton Dyer (1880), quien por primera vez sugirió que la roya se dispersa por el aire. El describió su distribución esporádica cuando apareció por primera vez en Ceilán; este autor consideró que esto debería haberse atribuido a gérmenes diminutos que llevaban la infección por el aire. Muchos de los observadores más antiguos concordaban que la dispersión era por el aire y citaron con frecuencia la mayor incidencia de la enfermedad en cafetos expuestos y la incidencia menor en arbustos protegidos por rompevientos, etc. Se recomendó la instalación de rompevientos para ayudar a controlar la enfermedad.

Ward (1881 y 1882b) obtuvo evidencia experimental sobre la dispersión de esporas por el viento. El expuso placas de vidrio (portaobjetos) de 2,5 x 7,5 cm, recubiertas con glicerina en un número de localidades, posiciones y distancias diferentes de árboles de café. Él interpretó sus resultados como demostración de que las esporas de la roya del café llevadas por el viento eran muy diseminadas, y que cuanto mayor incidencia de roya había en el campo, tanto mayor era el número de esporas atrapadas. El Cuadro 4 presenta ejemplos típicos de los resultados que obtuvo.

CUADRO 4. Número de esporas atrapadas por Ward en Colón en diversas circunstancias en portaobjetos untados de glicerina.

Distrito	Fecha	Desarrollo de la enfermedad	Viento	Distancia de la planta del cafeto	Distancia sobre el suelo	Método de exposición	Tiempo de exposición	No. de esporas atrapadas
Rakwana	Abril	Muy poco	Muy poco	1,2 m	0,9 m	Plano sobre roca	14 h	1
Dikoya	Mayo 13	Muy poco	Muy poco	1,8 m	0,6 m debajo del cafeto	Plano sobre roca en medio de un arroyo	8 h	1
Pundaluoya	Mayo 22	Muy poco	Poco	4,0 m	1,5 m		12 h	2
Peradeniya	Junio 3	Pocas manchas aquí y allá	Mucho	4,0 m	Sobre hierba	Plano sobre tronco	8 h	7
Peradeniya	Julio 8	Muy fuerte	Muchísimo	6,0 m	1,5 m	Vertical	12 h	117
Peradeniya	Julio 8	Muy fuerte	Muchísimo	8,3 m	1,2 m	Vertical	12 h	21
Peradeniya	Julio 9	Muy fuerte	Muchísimo	6,6 m	1,2 m	Vertical	2 h	8
Peradeniya	Julio 9	Muy fuerte	Muchísimo	4,0 m	1,5 m	Vertical	2 h	13

Como puede apreciarse, aún a distancias considerables de plantas de café (hasta unos 8 m) se atrapó un número apreciable de esporas durante períodos de exposición relativamente cortos. Numerosas esporas, muchas germinando, fueron atrapadas también en las mallas de manta expuesta durante algunos meses entre arbustos de café.

Ward también observó que en la atmósfera calmada de una caja de Wardian, cada fascículo de uredósporas que atravesaban un estoma, formaba cadenas de uredósporas cogolando hacia abajo, las que se caían con el menor movimiento de la hoja. El encontró que el haz de hojas de plantas infectadas, cultivadas en una caja de Wardian, estaban abundantemente empolvadas con esporas. Ward concluyó que en el campo tales fascículos producen continuamente esporas, las que son liberadas por los movimientos de las hojas y son llevadas por el viento. Sus conclusiones fueron apoyadas por la observación de que plantas de café expuestas en un balcón con cara a los vientos monzónicos prevalentes estaban más infectados con la roya que plantas protegidas de este viento. La situación se invirtió cuando el monzón cambió de dirección. Lo mismo ocurrió con árboles en la esquina de un bloque de cafetos; al estar expuestos al viento, estaban mucho menos infectados que los árboles de atrás. Al invertirse la dirección de los vientos estos árboles presentaron una alta incidencia de la enfermedad. Ward concluyó que este fenómeno se debía a lo siguiente: en el primer caso el viento llevaba pocas esporas a los árboles esquineros, puesto que estaba soplando sobre terreno sin cafetos; al cambiar la dirección del viento, se transportaban entonces esporas desde cafetos adyacentes, de lo que resultaba una infección fuerte. El concluyó que "el hecho de que la enfermedad (la roya) fuera transmitida de lugar a lugar por el viento, está ahora confirmado por evidencia irrefutable". Este es el origen de lo que Nutman y Roberts (1962c) llamaron "el mito de la dispersión por el aire".

Ward encontró que si un portaobjeto se fijaba sobre una rama de un cafeto en la misma posición ocupada por una hoja y luego la examinaba, se podían encontrar esporas de la roya en la superficie superior cuando el tiempo estaba húmedo y también podían detectarse en el borde de la superficie inferior. El observó que en los primeros estados de aparición de un foco de epidemia, las lesiones se producían con más abundancia cerca de los bordes en el envés de las hojas; de esto concluyó que al igual que en el caso del portaobjeto de vidrio, las esporas depositadas en el haz foliar eran lavadas alrededor de los bordes y depositadas en la superficie inferior, donde germinaban y producían infecciones. Se insinuó que una manera

en que las esporas podrían llegar al envés de hojas era mediante vientos violentos que las llevan hacia arriba, siendo las hojas entonces salpicadas con gotas de lluvia que contenían esporas.

Ward consideró que las hojas caídas representaban una fuente importante de inóculo. El mostró que la producción de esporas continuaba sobre ellas por algún tiempo después de haberse caído, y que las esporas podían ser llevadas desde las hojas caídas sobre el suelo por corrientes de aire, e infectar hojas vivas; Ward hasta recomendó a los caficultores recoger y quemar o enterrar las hojas infectadas caídas, como medida para controlar la infección.

Mayne (1932b) expuso portaobjetos, montados verticalmente y untados de vaselina, en dos localidades, una expuesta al viento y la otra protegida; cada vez se colocó un número igual con cara hacia los 4 puntos cardinales de la brújula; todos los portaobjetos se encontraron en una plantación a un nivel ligeramente superior al de las copas de los cafetos. Después de una semana de exposición el número promedio de esporas recolectadas en cada portaobjeto fue el siguiente:

<u>Portaobjeto con cara hacia</u>	<u>Posición expuesta</u>	<u>Posición protegida</u>
Oeste	20,3	3,5
Sur	15,3	13,0
Norte	7,7	14,0
Este	6,6	13,5

El mayor número de esporas recogidas en portaobjetos expuestos al viento prevaleciente, o sea en este caso hacia el oeste, en la localidad expuesta merece atención; esta cifra se consideró como confirmación de que las esporas son llevadas por el viento. Pero debe notarse, sin embargo, que aunque el número de esporas recolectadas no fue insignificante, las cifras mencionadas difícilmente pueden considerarse como una indicación de que cantidades importantes de esporas sean transportadas por el viento, especialmente porque las placas fueron expuestas por una semana.

De observaciones en el campo de ataques de roya frecuentemente muy localizadas en bloques de cafetos aparentemente uniformes, y la relación de algunos de estos ataques con focos de uno o unos pocos árboles de una variedad altamente susceptible, tal como Harar, o de una de este tipo que ocurren espontáneamente, el autor concluyó que los brotes de proporciones epidémicas en el campo deben ser frecuentemente el resultado de una diseminación de esporas bastante restringida. Aunque el autor acepta la posibilidad de infecciones como resultado de esporas llevadas por el viento desde áreas distintas, señaló (Rayner 1956a) que el inóculo para un foco epidémico de la enfermedad se originaba predominantemente de ataques previos en el mismo bloque. En realidad esta observación fue la base para el uso del análisis de covarianza en pruebas de campo de fungicidas (Rayner 1961b y 1962). Se encontraron algunas correlaciones fuertes y altamente significativas entre las cantidades de roya, árboles adyacentes, pero el grado de correlación variaba considerablemente entre áreas. Esto sugirió que donde la infección era severa, ésta se extendió de pocos centros de infección dentro del área y que donde el ataque era menor la infección original era relativamente homogénea. En realidad, no se había observado la presencia de roya en la última área durante la estación previa, y parece poco probable que el tipo de distribución observado se pudiera haber originado de otro modo que no fuera por infección por el viento. Mayne (1932) también señaló en lo referente a sus observaciones sobre el número de lesiones por hoja durante los meses del monzón del suroeste de 1929-30, que mostraban que el número de hojas infectadas aumentaba notoriamente con más velocidad que el número de infecciones por hoja, cuando el nivel de infección era bastante bajo, eran consistentes en cuanto al acarreo del inóculo por el viento. Sin embargo, él

también observó que a veces el ataque de la enfermedad era muy localizado; de éste dedujo que la formación de un foco epidémico resulta del inóculo producido por el mismo grupo de árboles e indicó la ausencia de cualquier fuente externa de infección de importancia.

El autor (Rayner 1956b, 1960a) estudió el depósito de esporas sobre superficies foliares bajo condiciones de laboratorio. Empleó una corriente de aire, la cual era pasada sobre una lesión de roya en esporulación, siendo el aire movido mediante vacío formado en un frasco, en cuyo fondo se encontraba una hoja en posición horizontal. Las esporas se sedimentaban, como era de esperar, solamente en la superficie superior de la hoja, a menos que hubieran intervenido fenómenos eléctricos. De esta superficie las esporas podían removerse sólo mediante una corriente de aire extremadamente fuerte en tanto que flotaban hacia la superficie de gotitas de agua colocadas en la hoja. Por lo tanto, esporas llevadas por el aire, que caen sobre hojas, serían atrapadas hasta que sean liberadas por medio de la lluvia.

Se estudió en el campo la mojadura del envés foliar. Ocasionalmente gotitas de lluvia llegaban directamente al envés, en presencia de vientos turbulentos. Agua de lluvia alcanzó a veces también al envés al rodear el margen foliar (compare las observaciones de Ward, p. 54). La mojadura, sin embargo, más frecuentemente se debió a salpicaduras de agua cuando las gotas chocaban con el haz de hojas inferiores. Tales salpicaduras llevaban consigo cualesquiera esporas depositadas sobre el haz foliar. De esta forma las esporas llevadas por el viento podían ser transportadas desde el haz, sobre el cual se hubieran depositado y atrapado, al envés de otras hojas donde únicamente podría ocurrir la infección. Que las gotas de lluvia pueden sin embargo, atravesar una lesión, recoger esporas y seguir fluyendo sobre el envés, produciendo entonces nuevas infecciones, se dedujo por la existencia ocasional de hiervas de lesiones jóvenes que se originaban en una vieja.

Nutman (1959), Nutman y Roberts (1962 a y b), Nutman, Roberts y Bock (1960) y Bock (1962a), contrariamente a investigadores anteriores, han concluido de investigaciones extensivas bajo condiciones de laboratorio y de campo, que la dispersión por aire es de poca o ninguna importancia en la diseminación de la enfermedad y que las salpicaduras de lluvia son el agente principal, no solamente para la dispersión, sino también para la liberación de esporas.

La relación entre velocidad del viento y liberación de esporas fue estudiada primeramente en 1960 (Nutman, Roberts y Bock). Se citaron datos de una plantación en Kiambu, una de las regiones cafetaleras más importantes de Kenia, para la velocidad del viento en campo abierto y dentro de un cafetal. La velocidad promedio del viento afuera de los cafetos era de 7,7 km/h y solamente en ocasiones alcanzaba 16 km/h. El promedio de velocidad dentro de la plantación tenía pocas probabilidades de exceder 0,8 km/h a un espaciamiento de los cafetos de 2,4 m entre hileras; con 3,1 m el viento llegó a un promedio de 3,2 km/h, con un máximo de 7,2 km/h. Sin embargo aunque no son frecuentes ocurren ráfagas de viento de corta duración, hasta de 86,4 km/h como máximo absoluto. Por ejemplo, durante 24 años en que se tomaron datos, se observaron solamente 81 ráfagas con una velocidad mayor de 64 km/h.

No obstante, es poco probable que las ráfagas de viento provoquen velocidades mayores de 22,4 km/h dentro de una plantación.

Se observó el efecto de velocidades de viento hasta 20 km/h, producidas mediante un abanico eléctrico o un ventilador en el laboratorio sobre la liberación de esporas de lesiones altamente productivas de esporas. Se trajeron las lesiones del campo y, con mínimo de agitación mecánica, se recortaron de las hojas y se mantuvieron cara arriba, sobre portaobjetos, mediante almohadillas de jalea de glicerina. Chorros de aire se dirigieron sobre estas lesiones por períodos de 10 minutos a un ángulo de 30°. Se compararon las fotomicrografías tomadas antes y después de una exposición con y sin vibración mecánica

controlada. No se detectó movimiento de esporas a velocidades de hasta 14,4 km/h con y sin vibración, y muy pocas esporas se movilizaron a 20 km/h. Adicionalmente hojas enteras con lesiones se fijaron por medio de sus pecíolos en posición horizontal y se expusieron a corrientes de aire hasta de 9,6 km/h y se colocaron portaobjetos recubiertos con material pegajoso detrás de ellas. Solamente a 9,6 km/h, velocidad a la cual ocurrió una agitación apreciable de las hojas, se recogieron esporas y éstas siempre estaban en ramilletes.

Cuando de manera similar se expusieron ramas enteras con muchas hojas fuertemente infectadas, y se atraparon las esporas con una trampa de esporas de varilla giratoria, no se recogieron esporas hasta 11,2 km/h. Aunque el movimiento de hojas bajo estas circunstancias era mayor que el normal en plantaciones, no fue tan violento como en el caso de hojas individuales, fijadas por sus pecíolos.

En comparación, lesiones de *Puccinia graminis*, un hongo conocidamente diseminado por el viento, montadas sobre jalea de glicerina, liberaron nubes de uredósporas con menores velocidades de viento que se emplearon.

Esporas maduras transferidas de vidrio pulido, superficies metálicas u hojas, ya fuera golpeando o pincelando las lesiones, o como una suspensión de esporas en agua a la que se permitió secarse, no pudieron ser deslizadas por el viento, con excepción de algunos de los aglomerados más grandes resultantes de la transferencia en seco al vidrio o metal; sin embargo, éstos tampoco se deslizaron en las hojas. Estas últimas observaciones confirman por lo tanto las descritas por el autor en la página . Están en realidad de acuerdo con el hecho bien conocido de la aerodinámica, de que objetos con un diámetro menor que la capa laminar limitante que rodea superficies, no pueden ser desplazadas con excepción de vientos fuertes con fuerza suficiente para hacer adelgazar la capa.

Gotitas de agua colocadas sobre las superficies de lesiones hicieron que de inmediato se levantaran masas de esporas, las que se extendieron individualmente sobre la superficie del agua. De estas observaciones se concluyó que la distribución de las esporas por el aire solamente podía ocurrir a una tasa relativamente baja, demasiado baja para ser responsable del incremento rápido de epifitias y que la liberación y distribución mediante salpicaduras de agua debe ser la responsable de esto. Esta opinión es contraria a ciertas observaciones hechas por el autor, quien señaló (Rayner 1960a) que en caso de plantas infectadas con roya, cultivadas en el aire calmado de un invernadero, se depositó una capa espesa de esporas sobre el haz de hojas situadas debajo de las que tenían lesiones de roya; esta observación también la hizo Ward (1882c). Cuando se golpearon hojas infectadas se liberó una nube de esporas, pero muy pronto se depositó. Aunque se estuvo de acuerdo que la lluvia jugaba un papel muy importante en la distribución de esporas y que era el vehículo a través del cual las esporas llegaban al envés de la hoja, se consideraba que su liberación era principalmente al aire como resultado de lluvia que golpeaba las hojas y otros sacudimientos mecánicos. Sin embargo, estuvo de acuerdo en que a veces ocurría también liberación directa al pasar la lluvia sobre lesiones, pero que eso era menos importante.

Observaciones hechas en el campo en Kenia durante aguaceros mostraron (Rayner 1961a) que la mojadura del envés de la hoja generalmente no era muy marcada y ocurría principalmente por salpicaduras hacia arriba desde hojas inferiores. Se consideró que las lesiones de roya muy pocas veces eran golpeadas directamente para que este fenómeno fuera el método predominante de la liberación de esporas.

Observaciones (Rayner 1961a y datos sin publicar) en un laboratorio de Kew, Inglaterra, sobre lesiones de roya de inoculaciones de una planta de café en maceta, mostraron que bajo condiciones de completa calma las esporas no eran liberadas de las lesiones, aun cuando estas lesiones estuvieran fuertemente recubiertas con esporas; cuando se golpeó ligeramente la hoja afectada, ocurrió una liberación abundante. En un rayo fuerte de luz en el laboratorio, en

ausencia de corrientes de aire perceptibles, se podía observar que la nube de esporas resultante se deslizaba y se precipitaba en una faja con una inclinación de 45° en relación a la vertical. Una lesión golpeada a intervalos de 2 a 3 semanas liberó 366.100 esporas durante tres meses y solamente unas 50.000 más pudieron removerse por medio de agua al final de este período o sea el 88 por ciento de la producción total removible se separó y deslizó en el aire debido a los golpes. Gotitas de agua, que se dejaron caer sobre la cara superior de hojas exactamente sobre lesiones, las que se habían mantenido previamente en calma absoluta, causaron liberación abundante de esporas. Por ejemplo diez gotitas de un diámetro de 5 mm que cayeron de una altura de 1,2 m liberaron 396.000 esporas. Cinco gotitas de 4 mm de diámetro, cayendo sucesivamente de una altura de 30 cm liberaron 7490, 427, 711, 4635 y 411 esporas respectivamente, o sea un total de 13.674 de la misma fructificación.

El autor había notado anteriormente, cuando trabajó en Kenia en observaciones hechas con un microscopio, que esporas de lesiones traídas del campo no eran desplazadas por corrientes de aire en forma marcada, pero no se efectuaron observaciones exactas. Sin embargo, lesiones producidas en Kew (Inglaterra) bajo condiciones de calma, de modo que estuvieron recubiertas con una costra gruesa de esporas, liberaron un número considerable de esporas al dirigir sobre ellas una corriente de aire desde un tubo mantenido a 1 cm de distancia, con una inclinación de 45°. Estas esporas se atraparon en una superficie pegajosa adyacente a velocidades promedias de salida de aire de 16 a 32 km/h (no 1,6 a 3,2 km/h) como erróneamente está indicado en Rayner 1961a). La velocidad de la corriente de aire en la superficie de las lesiones probablemente era mucho más baja, pero no se midió y es difícil de computar exactamente. Sin embargo, parecía que corrientes de aire por sí solas podían liberar esporas de lesiones densamente recubiertas, a velocidades inferiores a las indicadas por Nutman *et al.* en el caso de lesiones traídas del campo. Por eso se hicieron intentos (sin publicar) por encontrar la velocidad mínima a la cual ocurría liberación, empleando tales lesiones y flujo de aire laminar en un micro-túnel de viento, puesto amablemente a la disposición del autor por los doctores Hirst y Gregory en la Estación Experimental de Rothamsted. Desafortunadamente fue imposible recortar las hojas a un tamaño conveniente y montarlas en el túnel sin causar alguna degradación y separación en la estructura reticulada compleja de la masa de esporas. En una de las muestras no hubo liberación de esporas a 7,2 km/h pero un 14,8 por ciento del total que se liberó mediante golpes, el 10,7 se desprendió cuando la velocidad era de 10,7 km/h y otro se aumentó a la velocidad de 14,4 km/h. No ocurrió liberación hasta 14,4 km/h en un espécimen en el cual las columnas de esporas estaban todavía separadas. Un gran número de esporas (aproximadamente 14.000) fue liberado cuando se pasó un chorro de aire que salía de la boca del orificio con una velocidad de 32 a 64 km/h a 1 cm de distancia de la lesión. Al restringir el flujo del aire en el túnel mediante un anillo de 9 mm de diámetro, y colocando la lesión a un ángulo de 45° delante de él, no se notó liberación a 8,3 km/h en el anillo si se liberaron pero sí 2,330 esporas a 16,8 km/h, 7,980 a 25,3 km/h y 9.593 a 33,6 km/h. Por lo general, colocando lesiones a diferentes ángulos en el flujo del aire o al desviar éste colocando obstáculos pequeños delante de las lesiones, producía aumentos en la liberación de esporas. No se determinó si este incremento se debía a los efectos del ángulo de la corriente de aire que soplaba sobre la lesión o era causado por la turbulencia, las gradientes de presión, o aumento localizado de la velocidad. El uso de un anemómetro de alambre calentado para determinar las velocidades de aire al nivel de las lesiones podría posiblemente resolver algunos de estos problemas. El aspecto global de la liberación por el viento sólo es, sin embargo, algo académico, puesto que se encontró que la menor sacudida mecánica causaba la liberación de un número grande de esporas. Parece que con lesiones fuertemente incrustadas con esporas, la liberación podría tener lugar a velocidades de viento inferiores a las observadas por Nutman *et al.* y ciertamente puede ocurrir abundantemente a velocidades más altas.

Los experimentos en el túnel de viento también demostraron que, en el caso de lesiones de hojas caídas y secas, las esporas se liberaron abundantemente a velocidades de viento de 10,7 km/h.

Si las fructificaciones se mantienen en condiciones de calma, las fascículas de hifas que salen por cada estoma producen continuamente esporas nuevas empujando hacia afuera las previamente formadas, para producir filamentos cortos e irregulares, del ancho de varias esporas, los que al unirse con uno vecinal, y luego con otro, producen un retículo irregular. Pequeños impulsos mecánicos hacen que parte de este retículo se quiebre y se separe (Rayner 1961a). Ward (1882c) también notó este comportamiento. En el campo la acumulación es menos notoria, presumiblemente porque hay liberación de esporas por agitación intermitente de las hojas por ráfagas de viento. Bajo estas circunstancias pocas esporas están listas para su liberación en un momento determinado y esto podría tener un efecto sobre las observaciones anotadas por Nutman *et al.* por cuanto el material experimental de ellos fue colectado en el campo.

Podría esperarse que la liberación de esporas en el aire por sacudida mecánica sea máxima durante aguaceros, después de un período de tiempo seco, debido a los golpes de las hojas por las gotas de lluvia que caen. Gotitas de lluvia que salpican lesiones hacia arriba desde los haces foliares de hojas inferiores también producirán ondas de choques que podrían inducir la liberación de esporas en el aire. Por ejemplo, el autor encontró (resultados sin publicar) que cuando un número de gotitas de agua de 1 a 2 mm de diámetro, eran propulsadas hacia arriba a través de un pequeño hueco hecho en una lámina de acetato de celulosa, para que chocaran con una lesión producida por roya colocada sobre el hueco, se conseguía un depósito visible de esporas secas en el lado superior de la lámina en los alrededores del hueco. La velocidad de las gotitas era suficiente para enviarlas, en caso de no existir impedimento, a una altura promedio de unos 15 cm y una máxima de 28 cm.

Nutman *et al.* (1960) estimaron que la tasa de caída de esporas en aire en calma (la velocidad terminal) era mayor de 20 cm/seg para grupos de una docena o algo así de esporas y de 6,7 a 10 cm para esporas individuales. La última cifra es varias veces mayor que la de una espora fungosa individual registrada hasta ahora, y diez veces superior que para las esporas de royas de los cereales. Sin embargo, según su publicación pareciera que la cifra dada podría referirse sólo a las esporas que caen más rápidamente. Tampoco hay claridad en cuanto a si se tomaron precauciones para evitar corrientes de convección. Nutman *et al.* concluyeron que cualesquiera esporas liberadas en el aire no se desplazan muy lejos, sino que tienden a precipitarse en la inmediación de su punto de origen. Sin embargo a instancias del autor, Gregory en 1966, usando un aparato de impacto en cascada y esporas producidas por Hislop en la Estación Experimental de Long Ashton cerca de Bristol, Inglaterra, estimó la velocidad terminal de una sola espora en 0,59 cm/seg y el promedio para un grupo de esporas en aproximadamente 1,0 cm/seg (comunicación privada). Estos resultados son muy similares a los obtenidos con royas de los cereales y difieren notablemente de las de Nutman *et al.*

Las observaciones de Burdekin (1960) hechas en Tanganyika (Tanzania) están de acuerdo con la opinión de que cualquier espora liberada en el aire no se desplaza muy lejos. Empleando trampas horizontales de gravedad, sencillas aunque algo ineficientes, colocadas a 7,5 cm sobre el suelo, él comprobó que aunque se podían atrapar hasta 160 esporas por día por 6,25 cm<sup>2</sup> de superficie de trampa debajo de un arbusto de café, se recogían mucho menos a una distancia de 1,8 m (véase Cuadro 5). La mayoría de estas esporas estaban agrupadas en agregados.

También es evidente según estas cifras que cantidades muy considerables de esporas deben liberarse en el aire, aunque la mayoría lleguen al suelo en la parte exactamente debajo del árbol en el que se produjeron. Burdekin también reportó que de hojas muy afectadas por la roya que todavía estaban en el árbol o ya caídas, se desprendían nubes de esporas al soplar

suavemente sobre ellas. Además, él verificó viabilidad y capacidad de producir infección de las esporas de hojas caídas; encontró que sólo cuando las hojas caídas estaban muertas y eran color marrón ocurría entonces una reducción en la germinación, mientras que esporas de hojas caídas que todavía estaban verdes, mostraban un alto índice de germinación.

Cuadro 5. Número de uredósporas atrapadas al nivel del suelo mediante trampas de esporas sencillas en una plantación de café en Tengern. Tanzania.

Posición de la trampa	Intensidad del ataque de la Roya	Número promedio de esporas/día/625 cm <sup>2</sup>			
		Febrero	Marzo	Promedio	
Debajo del árbol	fuerte	45	160	102	} 41
	moderado	5	1	3	
	leve	37	0	18	
A 1.8 m del árbol	fuerte	29	12	20	} 10
	moderado	3	1	2	
	leve	13	4	8	
		22	29		

Bock (1962a) ha reportado un estudio exhaustivo de los números de esporas de roya presentes en el aire entre arbustos de café en una hacienda en Kenia, mediante empleo de trampas de varilla giratoria, según Harrington, Gill y Warr, las trampas fueron colocadas a alturas de uno, dos y tres metros, estando la última a unos 60 cm sobre la altura promedio de los arbustos, los que tenían una edad de 4 a 5 años, no tenían sombra y su distanciamiento era de 3 x 3 m. Las trampas fueron al comienzo accionadas cada hora durante todo el día y más tarde por tres períodos de una hora cada uno entre medio día y las 15 horas, habiéndose encontrado que era éste el período del movimiento máximo de esporas. Las trampas se operaron de setiembre a noviembre. La mayor parte de este período correspondió a un nivel relativamente bajo de ataque de la roya entre dos epidemias, decayendo el número promedio de lesiones por hoja alrededor de 2,5 a aproximadamente 0,5 con un ligero incremento hacia el final del período y manteniéndose inferior a 1 la mayor parte del tiempo. Según los resultados publicados la mayoría de las esporas, cerca de un 90 por ciento, se encontraban en grupos compactos. Durante el tiempo total (120 horas) que las trampas estuvieron en acción, el promedio de concentración de esporas por metro cúbico a 1,2 y 3 m de altura fue de 5,9, 1,5 y 0,6 respectivamente. Sin embargo, durante el período de la disminución de la infección, los valores fueron 16,7, 2,9 y 2,7 y durante el período de la incidencia mínima de la roya 10,1, 3,6 y 0,3 y cuando nuevamente aumentó la infección, 1,0, 0,9 y 0. Disturbios mecánicos debidos a la recolección experimental de las hojas causaron un aumento considerable de esporas atrapadas pero este fenómeno estuvo principalmente confinado a la trampa más baja a pesar de predominar una velocidad relativamente alta de viento, 7,6 km/h. Bock concluyó que puñados de esporas deben desprenderse de las pústulas mediante interferencia mecánica durante el tiempo seco, pero el hecho de que tales uredósporas fueran atrapadas en su mayoría en la trampa más baja indicó que no son llevadas por el aire, sino que caen rápidamente. Bock consideró que la evidencia indicaba que la distribución por aire era poco probable, aun en una proporción baja.

A pesar de ser cierto que las concentraciones de esporas que Bock reportó en la parte alta de las copas de los arbustos aparentan ser muy bajas en comparación con las reportadas en la literatura para patógenos indudablemente diseminados por aire, como las royas de los cereales, debe tenerse en cuenta que la unidad de volumen utilizada, en la cual se reportan las concentraciones, es realmente pequeña comparada con el volumen de aire que pasa por encima de las copas de los arbustos a las velocidades del viento, medidas que se dieron como prevaletientes. Aunque Bock sólo citó las velocidades máximas de aire durante sus observaciones, Kirkpatrick (citado por Nutman *et al* 1960) indicó 7,7 km/h como valor promedio para las plantaciones que él estudió. Bock citó una concentración promedio de esporas durante el período de sus observaciones de 0,6 por metro cúbico a una altura de 60 cm sobre el arbusto. No ofreció dato alguno de cómo la concentración de esporas varió con la altura, pero puede presumirse con seguridad que este valor debe representar la cifra mínima entre 60 cm y la copa del arbusto. Sin embargo, si se presume que ésta representa la concentración promedio, se podría calcular que unas 80.000 esporas podían atraparse por día a través de un plano vertical de 60 cm de altura, centrado en un arbusto y del mismo ancho que éste o sea aproximadamente 1,2, a una velocidad del viento de 7,7 km/h. Esto es, sin embargo, solamente una cifra mínima para el número de esporas que serían transportadas por encima de la copa de un arbusto ya que no se tomó en cuenta la concentración probablemente más alta cerca de su superficie superior, ni de cualquier espora que pudiera estar presente a alturas mayores de 60 cm por sobre los arbustos. Además, la concentración de esporas encontrada era el promedio durante un período en el cual la infección mostró un nivel relativamente bajo. Con respecto a la concentración más alta observada, de 2,7 esporas por metro cúbico, que ocurrió durante la fase de declinación de la infección, el número comparable de esporas se calculó en unas 360.300. Tales cifras hacen pensar que si se atrapan esporas en el aire mediante trampas volumétricas, las esporas deben entonces estar presentes en cantidades realmente muy elevadas.

Hirst en realidad indicó (véase Gregory 1961) que "ninguna trampa es capaz de detectar esporas tan sensitivamente como un acre de un cultivo susceptible durante tiempo favorable para la infección. Por lo tanto, las epidemias pueden iniciarse con concentraciones de esporas que las trampas no revelan . . ."

Tanto Nutman *et al* como Bock subrayaron que la velocidad de la precipitación que ellos observaron para las uredósporas de *Hemileia vastatrix*, significaba que la mayoría de esporas liberadas en el aire caía a una distancia muy corta de su punto de origen. Esto es cierto por supuesto aun para patógenos indudablemente diseminados por el aire, como son las royas de los cereales. Por ejemplo, Gregory (1961) calculó que un 94 por ciento de tales esporas liberadas a 10 cm sobre el nivel del suelo, eran depositadas dentro de una distancia de 100 m de su procedencia. Una cifra comparable para tres metros sería alrededor de 60 por ciento para la misma velocidad terminal; no existen datos para efectuar computaciones para las velocidades mayores reportadas por Nutman y Roberts para *Hemileia vastatrix*. A pesar de la alta tasa de depósito de esporas de royas de los cereales cerca de su punto de origen, Gregory señaló que sus esporas pueden recorrer distancias inmensas.

Debe considerarse que los resultados de Bock se refieren a un período durante el cual la infección de la roya fue relativamente baja. Esto fue porque él se interesó principalmente en el mecanismo mediante el cual las infecciones aisladas se transforman en epidemias de grandes proporciones. No cabe duda alguna de que sus observaciones demuestran muy claramente que tales epidemias no pueden ser el resultado inmediato de la llegada de inóculo fuerte de otra parte, como ocurre en el caso de algunas royas de los cereales. En tal sentido estos resultados respaldan las conclusiones anteriores de Mayne y Rayner (véase p. 64).

Sería interesante ver cómo se comparan las observaciones de Bock sobre el atrapamiento de esporas, hechas por Ward y Mayne: pero no es posible una comparación directa debido a los diferentes métodos de atrapar las esporas empleadas. La eficiencia de un portaobjeto

pegajoso, colocado verticalmente, según demostración de Gregory (1961) varía con la velocidad del viento desde 0,1 por ciento a 4 km/h hasta 27 por ciento a 33,6 km/h. Ninguno de los investigadores indicó la velocidad promedio del viento a la hora de sus observaciones, pero al referirse a la cifra 7,7 km/h, dada por Kirkpatrick como valor promedio para una hacienda en Kenia, la eficiencia del atrapamiento sería aproximadamente del 1 por ciento. A la misma velocidad, la dosis por área a una concentración promedio de 0,6 esporas por metro cúbico, tal como la observación por Bock, sería de 8,9 esporas por hora para un portaobjeto de vidrio de 2,5 x 7,5 cm. Así sería de esperar que 10 esporas se atraparían en 12 horas, o sea 140 por semana, valor de la misma magnitud que el mencionado en los resultados de Ward y Mayne (véase pp. 52 a 54), siendo más bien más bajo que el primero y más alto que el último.

Nutman, Roberts y Bock basaron primeramente su conclusión de que el agua era el vehículo principal, tanto para la liberación de esporas como para su dispersión, en el nivel tan bajo de la liberación de esporas por el viento solo, tal como lo observaron ellos, y en la facilidad con que las esporas pueden ser liberadas por el agua, a lo que quizás debería añadirse su incapacidad de pensar en cualquier otro mecanismo probable, aunque esto no fuera realmente expresado. Aunque tal mecanismo, o sea la liberación en el aire mediante la sacudida mecánica por gotas de lluvia que pegan contra el haz foliar, fue sugerido por el autor, pareciera que, ningún estudio subsiguiente en el campo ha comprobado satisfactoriamente la importancia relativa de este método en relación a la liberación directa y dispersión por agua.

Que la lluvia jugaba un papel importante en la distribución final de las esporas hacia el envés foliar, fue primeramente sugerido por Ward (véase p. 53), aunque él aparentemente no apreció el papel de las salpicaduras. Aunque investigadores anteriores no han hecho constar que la liberación de esporas también podría deberse a la lluvia, parece poco probable que no apreciaran que la lluvia juega algún papel y Mayne dijo al autor que él se dio cuenta de que tenía su importancia debido a la distribución de infecciones secundarias.

Burdekin (1960) parece haber sido el primero que realmente examinó en el propio campo gotas de lluvia, cayendo de la punta de hojas empapadas, y con infecciones de roya; él demostró que estas gotas contenían un número elevado de esporas de roya. Bock (1962a) hizo un estudio de las circunstancias bajo las cuales las esporas son transportadas hacia el envés de hojas de café. Señaló que casi todas las esporas podían ser removidas eficientemente al fregar las hojas cuidadosamente con un poco de algodón mojado. Si posteriormente se aplicaba una disolución de acetato de celulosa con una brocha y se separa como una película delgada después de secarse, llevando consigo cualesquiera esporas que hubieran sido depositadas después del fregado, se podía fácilmente detectar, contar y anotar sus posiciones en la hoja al examinar la película. De esta manera se determinó el depósito de esporas sobre el envés de hojas en el campo durante períodos específicos de 24, 48 y 72 horas. En hojas libres de lesiones de roya, al faltar lluvia, no se encontraba ninguna, o sólo unas pocas esporas (presumiblemente no removidas por el fregado). En cambio después de una lluvia, se podían encontrar esporas y su número estaba más o menos relacionado linealmente con la cantidad de lluvia caída. Esta relación, sin embargo, no era exacta, pues la distribución dependía naturalmente de la naturaleza de la precipitación, suave y caída durante un período largo, o violenta y de corta duración. Sin embargo, es poco probable que aguaceros menores de 7,5 mm indujeran infección, aunque sí distribuían algunas esporas, pues no producían condiciones de humedad evidentemente adecuadas para permitir germinación y penetración, ya que no se encontró que ninguna de las esporas halladas después de tales lluvias livianas hubiera germinado.

Por lo tanto, estas observaciones confirman la hipótesis del autor, de que el método principal por el que las esporas llegan al envés de las hojas, debe ser la salpicadura hacia arriba desde los haces de otras hojas (p. 55). La diferencia entre esta hipótesis y la de

Nutman y Roberts y Bock se basa en el mecanismo mediante el cual las esporas llegan a los haces de hojas y no como se mueven de allá hacia el envés. Tampoco existe desacuerdo en cuanto a la posibilidad de que el agua que pasa sobre el envés de las hojas pueda distribuir las esporas de lesiones y ser causa del desarrollo de infecciones secundarias en la misma hoja en que hay lesiones primarias. Bock obtuvo evidencia adicional de que esto ocurre, usando la técnica antes descrita en hojas con pústulas. Mediante estimaciones de densidades de esporas en tiras de muestreo que van desde el nervio central hasta el borde de la hoja, se pudo construir un mapa de la distribución de la densidad de esporas, sobre toda la hoja. Se encontraron caminos de alta densidad de esporas, que se extendían desde las fructificaciones de la roya a lo largo de la hoja hacia el ápice, tal como resultaría con agua que pasa sobre las fructificaciones y luego escurre a lo largo de la hoja. Tales caminos sólo aparecieron después de lluvias y se desarrollaron más fuertemente con caídas mayores de lluvia. Se encontró que la distribución de fructificaciones secundarias estaba de acuerdo con la de la distribución de la densidad de esporas. Bock concluyó que las gotitas que contenían suspensiones densas de esporas, corren hacia el ápice foliar o hacia una ondulación en el margen foliar y que un impacto de otra gota de lluvia esparcía estas esporas a hojas adyacentes. Quizás debería recordarse que, aunque esto parece altamente probable, no se ha presentado realmente evidencia experimental de que esto ocurra. Aunque Burdekin (1960) encontró esporas en las gotas de lluvia que caen desde los ápices foliares, él no mostró que esto fuera resultado de la liberación por el agua que pasa sobre fructificaciones. En realidad, aunque Bock demostró claramente que esto puede suceder, no existe nada en su publicación que demuestre que parte de la cantidad de esporas de las salpicaduras de lluvia que llegan al envés de las hojas no infectadas, fuera el resultado de este método de liberación de esporas. Las propias observaciones de Bock han mostrado que a una altura de 1 m en el espacio intermedio entre dos arbustos, se encontraban de 1,0 a 16,7 esporas por metro cúbico de aire, según el grado de infección en el árbol. En vista de la alta velocidad de depósito, se podría esperar que dentro del árbol haya un número de esporas mucho más elevado. Además, como el aire dentro de un árbol, especialmente en los niveles inferiores, se encuentra relativamente en calma, es de esperar que una alta proporción de tales esporas se deposite sobre los haces foliares, especialmente en las hojas inferiores. No existen suficientes datos para calcular qué tasa de depósito podría esperarse, pero difícilmente puede ignorarse su importancia. Desafortunadamente Bock no ha reportado ningún examen de los haces foliares con respecto a esporas. Nutman y Roberts (1963) han señalado que exámenes muy cuidadosos después de intervalos de tiempo calmado y seco no revelaban depósitos visibles de esporas en los haces foliares. No se ofrecían más detalles, ni se describió el procedimiento experimental o la amplitud de las investigaciones. Se presume que las hojas fueron apenas inspeccionadas a simple vista, pues parece muy poco probable, con base en las observaciones de Bock sobre el número de esporas en los espacios intermedios entre arbustos, que no hubiera depósito sobre las hojas dentro del arbusto, donde la concentración de esporas debía ser mucho más alta que en la parte exterior. Burdekin, por cierto, atrapó un elevado número de esporas 7,5 cm sobre el suelo debajo de árboles. Tales esporas podían prevenir las lesiones en las hojas de la parte alta del árbol, aunque existe la posibilidad de que hubieran sido sopladadas desde lesiones en hojas viejas caídas que se encontraron en el suelo.

Por lo tanto, no existen datos satisfactorios y exactos sobre el número de esporas liberadas en el aire y atrapadas sobre los haces foliares, esporas que más tarde podrían ser liberadas por la lluvia y distribuidas por salpicaduras al envés de las hojas; en su ausencia no se puede llegar a conclusiones válidas sobre la importancia relativa de la liberación en el aire durante tiempo seco en comparación con la liberación por la lluvia.

Sin embargo, la lluvia también puede ser causa de la liberación de esporas en el aire, ya sea por sacudimiento producido por las gotas de lluvia que caen sobre los haces foliares, o por el golpe de la salpicadura de gotitas que chocan sobre lesiones altamente productivas en las esporas, tal como sugirió el autor (véase p. 58). No se ha informado de observaciones de campo de las cuales se pudiera evaluar la importancia de estos mecanismos. Pareciera lógico

que con los primeros aguaceros después de un período seco, pudiera ocurrir una liberación considerable de esporas en el aire y con vista a los vientos turbulentos fuertes que frecuentemente acompañan tales aguaceros, las esporas liberadas podrían ser llevadas a alturas y distancias considerables desde su punto de origen.

Nutman y Roberts (1962b) han presentado los siguientes argumentos, aparentemente de peso, contra la opinión expresada por el autor en 1961 de que las salpicaduras de hojas inferiores muy pocas veces golpean las lesiones para que éste sea el método predominante de la liberación de esporas:

1. Aunque Nutman y Roberts están de acuerdo en que las esporas pueden ser sacudidas dentro del aire, ellos indican que el trabajo de Bock con la trampa de esporas mostró que tales esporas no se elevan sobre el nivel de las pústulas que las producen. Realmente, como ya se vio (pp.59-60), este trabajo de Bock claramente mostró que las esporas sí pueden detectarse sobre los arbustos, aunque es discutible si estas esporas juegan un papel en el desarrollo de epifitias, o en la dispersión a la distancia. En cualquier forma, el hecho de que las esporas liberadas al aire no asciendan, no es un argumento en contra de su importancia en la formación localizada de infección. Tal como sugirió el autor en primer lugar, esto significaría que la mayoría era depositada cerca de su punto de origen y que la propagación de la epidemia se aproximaría a la que se espera de un hongo diseminado por salpicaduras de lluvia.
2. Nutman y Roberts citaron resultados de la publicación de Bock en la cual él comparó concentraciones de esporas realmente observadas sobre el envés foliar después de una lluvia, y las concentraciones que podrían resultar si todas las esporas encontradas en el aire a dos metros de altura entre arbustos fueran depositadas en las hojas, demostrando que la última concentración sería más baja que la crítica para la infección. Como ya se vio anteriormente (pp.47-48), la evidencia para la existencia de una concentración crítica o aun de un efecto sinérgico de la proximidad de esporas sobre una infección, es discutible. Difícilmente podría decirse, para citar a Nutman y Roberts (1962a), que esto pone el último clavo, quizás sin necesidad, en el ataúd del mito de la dispersión por el aire. Además, resulta irreal calcular el número de esporas que probablemente se depositan dentro de un arbusto a partir de la concentración de esporas que rodean el árbol, tomando en cuenta que la liberación de esporas ocurre dentro del arbusto y que éstas caen rápidamente. Finalmente, las concentraciones de esporas observadas por Bock se refirieron a aquellas sobre el envés y podrían haber sido igualmente esporas originalmente liberadas tanto por el aire como por el agua.
3. Nutman y Roberts afirman que evidencia de fotografía con luz electrónica ("flash") ha demostrado, que la salpicadura hacia arriba es perfectamente adecuada para liberar esporas; en una instancia un aguacero de 15 mm removió por completo todas las esporas sueltas de una lesión fuertemente recubierta, con sólo las salpicaduras hacia arriba desde hojas adyacentes. Desafortunadamente, esta evidencia (aunque ofrecida con un poco más de detalle en Nutman y Roberts, 1963, aún no se ha publicado en detalle. El autor no preguntó si esto pudo o no ocurrir, sino que si éste podría adecuadamente constituir el método predominante de la liberación de esporas. La evidencia publicada por Nutman y Roberts sólo demuestra que sí puede ocurrir pero no que sea el método predominante.
4. Nutman y Roberts citan resultados de Bock (1962b) sobre el desarrollo de epifitias como si éstas pudieran explicarse completamente, con base en la efectividad de la dispersión por agua. Estos resultados son igualmente explicables en vista de que las esporas son liberadas en el aire y luego llevadas al envés de las hojas por medio de las salpicaduras de la lluvia.

Aunque, como puede deducirse de lo anterior, los argumentos propuestos por Nutman, Roberts y Bock no son conclusivos, parece que la liberación directa por salpicaduras de agua podría ser muy bien de mayor importancia de lo que se ha vislumbrado por investigadores anteriores. Es de esperar que eventualmente se lleven a cabo observaciones de campo para una evaluación satisfactoria sobre la importancia relativa de éste y de otros métodos de liberación.

La posibilidad de que insectos puedan ayudar en la dispersión, la han sugerido recientemente dos investigadores independientes. En Mysore, India, Ananth y Chokkana (1961) encontraron que *Euphysothrips subramani* Ram. et Marg. y *Scirtothrips bispinosus* Bagn., se alimentaban de lesiones de roya y que llevaban un número elevado de esporas en sus cuerpos cuando se desplazaban sobre las hojas. Se creyó que estos insectos podían ser el agente mediador causante de la infección de hojas jóvenes, recubiertas de rocío, en ausencia de lluvias, en brotes de hojas producidas en diciembre y enero. El control de la roya mediante atomización, con un sistema basado en cubrir cada tres pares de hojas de formación reciente, resultó inefectivo en esta época del año, porque la hoja joven se infectaba tan pronto como se formaba. Se creyó que este fenómeno se debía a la actividad de los thrips que pasaban el período caliente del día en las hojas viejas, en las cuales habían lesiones de roya, y visitaban los brotes terminales durante las horas frescas de la mañana o de la noche, llevando masas de esporas de roya consigo en sus cuerpos. Aunque no se mencionaron insectos adultos con alas, pareciera posible que éstos podrían constituir un medio con el cual la infección podría llevarse a largas distancias.

Crowe (1963) estudió insectos asociados con lesiones de roya en Kenia. Se encontró que las larvas de dos especies de mosquilla (*Cecidomyiidae*), *Lestodiplosis* sp. y *Mycodiplosis* sp. (?) se comían las esporas. Estos insectos eran atacados por dos parásitos de la clase himenóptera, *Leptacis kivuensis* Risbec y *Synopeas* sp. Mientras se buscaban hospedantes, se encontró que estos insectos estaban cubiertos densamente con esporas de roya. Después de la ovoposición o busca infructuosa, ellos caminaban hacia el borde de la lesión y se quitaban la mayoría de las esporas. Bajo condiciones de laboratorio se encontró que tales insectos llevaban desde 1 a 89 esporas, con un promedio de 37. Una vez desprendidos en el aire, estos insectos podrían ser llevados por el viento. En un ataque severo de roya son extremadamente abundantes, habiéndose estimado un nivel de 8.100 por ha en un caso muestreado. Se concluyó que aunque estos insectos no son portadores muy eficientes de esporas de la roya, podrían jugar un papel más importante en la diseminación de la enfermedad dentro de una plantación, debido a su abundancia y asociación obligada con pústulas de la roya, pudiendo constituir los medios más probables de la dispersión a plantaciones remotas.

Para resumir, se ha propuesto tres medios para la dispersión de esporas: aire, lavado por la lluvia, y transporte por insectos. La evidencia obtenida hasta ahora indica la participación de los tres medios, pero todavía hacen falta datos exactos sobre su importancia relativa. En el caso del primero debe enfatizarse que solamente parte del viaje sería efectuado por el aire, pues las salpicaduras de la lluvia o el lavado llevarían en última instancia las esporas al envés de la hoja. La liberación en el aire puede tener lugar de diferentes maneras. El viento solo quizás sea suficiente cuando es suficientemente fuerte, y especialmente si las lesiones son viejas y fuertemente incrustadas con esporas o se encuentran sobre hojas caídas, aunque es poco probable que este método sea de mucha importancia. La sacudida mecánica tal como ocurre al chocar dos hojas en el viento, representa otro medio, mientras que las olas de choque producidas por el golpe de gotas de lluvia sobre el haz foliar de hojas o directamente sobre la superficie con lesiones, podrían muy bien ser de mucha importancia, pero debe esperarse su evaluación bajo condiciones de campo. Aunque queda claro que solamente pocas esporas se dispersan en el aire entre arbustos, números más elevados podrán existir dentro del arbusto, donde hasta ahora no se han hecho mediciones de su abundancia especialmente durante lluvias, cuando probablemente tiene lugar la máxima liberación. A

pesar del debate considerable que ha provocado la interrogación de si las esporas son predominantemente liberadas en el aire o en el agua, debe entenderse perfectamente que para muchas consideraciones prácticas y teóricas esto no tiene mucha importancia puesto que en ambos casos existe un acuerdo de que finalmente las esporas son llevadas al envés de las hojas mediante la lluvia.

## LITERATURA CITADA

Por el hecho de que ya hay dos bibliografías detalladas sobre la Roya del Cafeto, la de Stevenson y Beam (1953) y la de Cáceres publicada por el IICA en 1970, no se ha indicado en esta lista los títulos de artículos de revista, sino solamente el volumen (en cursiva) y el número de la primera página.

ABBAY, R. 1878. *J. Linn. Soc. (Bot.)* 17:173.

ALEXANDER, J. 1878. *Gard. Chron.* 10:570.

ANANTH, K. y CHOKKANNA, N. G. 1961. *Indian Coffee* 25:37.

ANDERSON, G. 1879. "Jottings on coffee and its culture in Mysore". Bangalore 1879. Review in *Gard. Chron.* 12:398.

\_\_\_\_\_ . 1882. *Trop. Agricul.* 1:964.

BERKELEY, M. J. 1869. *Gard. Chron.* p. 1157.

BOCK, K. R. 1962a. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 45:63.

\_\_\_\_\_ . 1962b. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 45:289 y 301.

BURDEKIN, D. A. 1960. *Kenya Coffee* 25:212.

BURK, W. 1888. *Med. Kon. Akad. Wetenschappen (Natuurkunde)* 5(Ser 3):336.

\_\_\_\_\_ . 1889. *Med. uit'S Lands Plantentuin* 5:1.

BURT-DAVY, J. 1905. *Transvaal Dept. Agr. Rep.* 1903 - 1904. p. 297.

CARRUTHERS, J. B. 1904. *Rep. Gov. mycologist in Ceylon Roy. Bot. Gard. Admin. Rep.* 1903.

CHEVAUGEON, J. 1956. *Rev. Mycol.* 21 Suppl. Colon. 2, p. 57.

COFFEE BOARD, KENYA. 1959. *Kenya Coffee* 24:165.

COFFEE RUSTS RESEARCH CENTER. Oeiras, Portugal. *Progress Report 1960-1965.* Oeiras 1965. 144 p.

CRAMER, P. J. S. 1908. *Teysmannia* 19:66.

CROWE, T. J. 1963. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46:24.

CUMMINS, G. B. 1959. "Illustrated genera of rust fungi". Minnesota, U.S.A., Burgess Publishing Co.

DAVID, P. A. 1928. *Philipp. Agr.* 17:45.

DELACROIX, G. y MAUBLANC, A. 1911. "Maladies des plantes cultivées dans les pays chauds". Paris. v. pp. 267-414.

- DOIDGE, E. M. 1926. *Bothalia* 2:1.
- \_\_\_\_\_ . 1950. *Bothalia* 5 p. 398.
- D'OLIVEIRA, B. 1954-57. *Rev. do Café Portugues.* 1(4):5; 2(5):5; 2(6):5; 2(7):9; 2(8):5; 4(16):5.
- FABER, VON, F. C. 1910. *Ber. Deutsch. Bot. Gesell.* 28:138.
- GEORGE, K. V. 1956. *Bull. Indian Coff. Bd. Res. Dep.* 8.
- GOPALKRISHNAN, K. S. 1951. *Mycologia* 63:271.
- GREGORY, P. H. 1961. "The microbiology of the atmosphere". London, Leonard Hill; New York, Interscience Publishers.
- GYDE, L. M. 1932. *S. African J. Sci.* 29:296.
- HALILEY, G. F. 1883. *Trop. Agricult.* 2:841.
- HANSFORD, C. G. 1937. *E. Afr. Agr. J.* 3:235.
- HENDRICKX, F. L. 1939. *Rapport annuel pour l'exercice 1938 (2<sup>e</sup> partie).* pub. INEAC pp. 117-128.
- \_\_\_\_\_ . 1948. "Sylloge fungorum congensium - catalogues des champignons signalés au Congo Belge et au Ruanda-Urundi". p. 55. Brussels.
- LARGE, E. C. 1940. "The advance of the fungi". London and New York. Cape. Reimpresso 1962.
- MASSEE, G. 1906. *Kew Bull.*, pp. 35-42.
- MAYNE, W. W. 1930. *Mysore Coffee Exp. Sta. Bull.* 4.
- \_\_\_\_\_ . 1932a. *Mysore Coffee Exp. Sta. Bull.* 6.
- \_\_\_\_\_ . 1932b. *Mysore Coffee Exp. Sta. Bull.* 7.
- \_\_\_\_\_ . 1933. *Mysore Coffee Exp. Sta. Bull.* 10.
- \_\_\_\_\_ . 1936. *Mysore Coffee Exp. Sta. Bull.* 14.
- MORRIS, D. 1879a. *Nature* 20:557 and *Gard. Chron.* 12:531.
- \_\_\_\_\_ . 1879b. "The campaign of 1879 against coffee leaf disease by the coffee planters of Ceylon, assisted and guided by D. Morris". 274 p. Reimpresos de cartas y articulos de "Ceylon Observer". Jan-Aug. 1879.
- \_\_\_\_\_ . 1880. "The Coffee Leaf Disease of Ceylon and Southern India". Harrison & Sons, London.
- NARASIMHAN, M. J. 1936. *Adm. Rep. Agr. Dep. Mysore 1934-35*, pp. 19-22.
- NARASIMHASWAMY, R. L., NAMBIAR, K.K.N. y SREENIVASAN, M. S. 1963. *Indian Coffee* 27(9):261.
- NUTMAN, F. J. 1959. *Kenya Coffee* 24:451.
- \_\_\_\_\_ y ROBERTS, F. M. 1962a. *Kenya Coffee* 27:273.
- \_\_\_\_\_ . 1962b. *Nature* 194:1296.
- \_\_\_\_\_ . 1962c. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 45:449.
- \_\_\_\_\_ . 1963. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46:27
- \_\_\_\_\_ y BOCK, K. R. 1960. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 43:509.

- PETCH, T. y BISBY, G. R. 1950. *The fungi of Ceylon*. v. pp. 10 y 37.
- PETERSEN, L. J. 1959. *Phytopath.* 49:607.
- RAGUNATHAN, C. 1923. *Trop. Agr.* 60:128.
- \_\_\_\_\_ . 1924. *Ann. Roy. Bot. Gard. Peradeniya* 8:109.
- RAJENDREN, R. B. 1967a. *Nature* 213:105.
- \_\_\_\_\_ . 1967b. *Mycologia* 59:279.
- RAYNER, R. W. 1955. *Dep. Agr. Kenya Ann. Rep.* 1954. Vol. II.
- \_\_\_\_\_ . 1956a. *Coffee Board Kenya Monthly Bull.* 21:65.
- \_\_\_\_\_ . 1956b. *Ann. Rep. Dep. Agr. Kenya* 1956. Vol. II, pp. 52-55.
- \_\_\_\_\_ . 1960 *Kenya Coffee* 25:85.
- \_\_\_\_\_ . 1961a. *Nature* 191:725.
- \_\_\_\_\_ . 1961b. *Nature* 190:328.
- \_\_\_\_\_ . 1961c. *Ann. Appl. Biol.* 49:497.
- RAZAFINDRAMAMBA, R. 1958. *Rev. Mycol. Paris* 23:177.
- ROGER, L. 1951. "Phytopathologie des pays chauds" Paris, Paul Lechevalier.
- SADEBECK, R. 1897. *Mitt. Bot. Mus. Hamburg*: 3 Beiheft zum Jahrb. der Hamburg Wiss. Anst. XIV pp. 92-95.
- SCHROTTKY, E. C. 1881. *Trop. Agricult. J.*:133.
- SHIPTON, J. 1882. *Trop. Agricul. J.*:719.
- SNOWDEN, J. D. 1922. *Ann. Rep. Dep. Agr. Uganda year ended 31st. Dec.* 1921.
- STEVENSON, J. A. y BEAM, R. 1953. *Spec. Publ. Plant. Dis. Surv.* 3.
- STORCK, J. P. 1882. *Gard. Chron.* 17:219. *Trop. Agricult. J.*:910.
- SYDOW, P. y H. 1912-1915. "Monographia Uredinearum". pp. 205-207, 209-212, 215.
- \_\_\_\_\_ y BUTLER, E. J. 1906. *Ann. Mycol.* 4 p. 440.
- THARIN. 1913. *Congo Belge Bull. Agr.* 4:929.
- THIRUMALACHAR, M. J. and NARASIMHAN, M. J. 1947. *Ann. Bot. Lond. N. S.* 11:77.
- THISLTON DYER, W. T. 1880. *Quart. J. Micro. Sci. (N.S.)* 20:119.
- THOMAS, K. M. 1924. *Planters Chron.* 19(41):697.
- \_\_\_\_\_ . 1929. *Madras Agr. J.* Nov. 1929.
- THWAITES, G. H. K. 1874. *Rep. Direct. Bot. Gard. Peradeniya y Hakgala*.
- TRANZCHEL. W. 1904. *Trans. Soc. Imp. Nat. St. Petersburg Compt. Rend.* 35:311.
- TRIMEN, H. 1893. *Rep. Direct. Roy. Bot. Gards. Ceylon*.
- VENKATARAYAN, S. V. 1946. *Planters Chron.* 42:62. 1947. *Mysore Agr. J.* 25 :3. 1946.
- VISHVESHWARA, S. y NAG RAJ, T. R. 1962. *Phyton* 18:75.

- WARD, H. M. 1881. *Trop. Agricult.* 1:505.
- \_\_\_\_\_ 1882a. *Quart. J. Micro. Sci. N. S.* 22:1.
- \_\_\_\_\_ 1882b. *J. Proc. Linn. Soc. Bot.* 19:299.
- WELLMAN, R. H. y McCALLAN, S. E. A. 1942. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 12:431.
- WILSON, A. S. 1882. *Trop. Agricult.* 1:731.
- WURTH, T. 1910. *Cultuurgids* 11:539; también *Algemeen Proefsta. Java'te Salatiga Med.* 34/35 (ser. II).
- YOSHINAGA, T. 1913. *Bot. Mag. Tokyo* 27:67.
- ZIMMERMANN, A. 1904. *Med. uit 'S Lands Plantentuin* 67:1.

IMPACTO ECONOMICO  
DE LA ROYA DEL CAFETO  
EN AMERICA LATINA.

ESSENE SCHETEL

TRADUCCION: HUGO VILLALBA

1888

1889

1890

1891

1892

1893

1894

1895

**IMPACTO ECONOMICO  
DE LA ROYA DEL CAFETO  
EN AMERICA LATINA**

**EUGENIO SCHIEBER**

Convenio IICA/ZN-ROCAP



**IMPACTO ECONOMICO  
DE LA ROYA DEL CAFETO  
EN AMERICA LATINA**

**EUGENIO SCHIEBER**

**Guatemala, noviembre de 1973**



## PROLOGO

El IICA se ha preocupado del peligro de la introducción de la roya del cafeto en América desde los primeros años del inicio de los trabajos sobre este cultivo en Turrialba, Costa Rica. Esto dio lugar a la introducción de un gran número de tipos de cafetos que ofrecen distintos grados de resistencia a las varias razas del agente causal, *Hemileia vastatrix*.

Después del descubrimiento de la presencia de la enfermedad en Bahía, Brasil, centenares de semillas de estos tipos fueron suministradas a casi todos los países productores de café del Continente Americano. Se reconoció al mismo tiempo la urgencia de llevar a cabo un programa de información, considerando la escasez de buenas publicaciones en español sobre el tema. Desde 1970 la Biblioteca y Servicio de Documentación del IICA publicó una bibliografía de más de 1200 citas sobre las royas del cafeto. Una nueva edición ampliada está en preparación.

Hace pocos meses se publicó una monografía titulada "Micología, historia y biología de la roya del cafeto", escrita por un científico de gran experiencia en la materia, señor R. W. Rayner.

Gracias al Convenio IICA/ZN-ROCAP y a la autorización de "Annual Review Inc." de Estados Unidos de Norteamérica, tengo ahora el honor de presentar la traducción del trabajo del Dr. Eugenio Schieber ya publicado en inglés como un capítulo del libro "Annual Review of Phytopathology" (1972).

Este trabajo no duplica la monografía de Rayner; por lo contrario, la amplía. La monografía en cuestión no incluye los aspectos de combate de la enfermedad. Además, por haber sido escrita con anterioridad, no relata los recientes hallazgos hechos en Brasil sobre la enfermedad, desde su descubrimiento en aquel país.

La publicación del Dr. Schieber, a pesar de su título, cubre un campo más amplio que estrictamente el impacto económico de la roya del cafeto en América Latina. Se encuentran informaciones sobre la diseminación de la roya en Brasil y estudios ecológicos hechos en el país que son de gran valor, tanto como los datos sobre estudios de métodos de combate.

El impacto económico de la enfermedad es un problema que debe preocupar mucho a las oficinas nacionales de planificación de los países en que el café ocupa un importante lugar en la producción agrícola. Este tipo de conocimiento debería ayudar a tomar las decisiones necesarias sobre las partidas presupuestarias que deben dedicarse a programas para impedir la introducción de la enfermedad y la prevención para su combate en caso de su introducción eventual, dando gran importancia a la propagación de tipos resistentes.

El Dr. Schieber está sumamente calificado para escribir un trabajo de esta índole. El ha sido durante muchos años Jefe del Departamento de Fitopatología del Instituto Agropecuario Nacional de Guatemala; en este puesto ha llevado a cabo importantes investigaciones sobre enfermedades y nemátodos que atacan al café. También es autor de numerosos artículos sobre el tema. Su trabajo de disertación en la Universidad de Wisconsin, para obtener su título de "Ph. D.", versó sobre royas tropicales del maíz, por lo que es conocido en el mundo como un especialista en "royas". Su interés en el problema de la roya del cafeto data desde su primer visita en 1958 al Centro sobre las Royas del Café en Oeiras, Portugal. Desde 1970 se convirtió en un verdadero peregrino de la roya del cafeto, viajando a Brasil, a cuatro países de Africa y a la mayoría de los países cafetaleros del mundo para hacer estudios al respecto. Ha publicado sus observaciones comparativas sobre la roya del cafeto en Brasil y Kenia y como lo demuestra el presente trabajo, ha seguido de cerca las investigaciones llevadas a cabo en Brasil sobre *Hemileia*, desde su descubrimiento en Bahía.

No tenemos duda que esta publicación será de gran provecho para todos los que están preocupados por el avance la roya en América.

**PIERRE G. SYLVAIN**  
Horticultor "Emeritus"  
IICA-CTEI  
Turrialba, Costa Rica

# IMPACTO ECONOMICO DE LA ROYA DEL CAFETO EN AMERICA LATINA

Eugenio Schieber<sup>1</sup>

## INTRODUCCION

La roya o herrumbre constituye la enfermedad más importante del café en el mundo. Los países latinoamericanos han estado preocupados por el descubrimiento de la roya del café en América del Sur —el cual se realizó cerca de Itabuna, Bahía, en Brasil, en enero de 1970— debido a que todas las variedades y selecciones de café (*Coffea arabica* L.) bajo cultivo en el Hemisferio Occidental son susceptibles a esta enfermedad, provocada por *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. Es una herrumbre típica que afecta las hojas y causa defoliación, lo que a su vez debilita la planta y reduce el rendimiento. Hace un siglo, sin los medios adecuados para combatirla, fueron devastadas plantaciones enteras por esta enfermedad en Ceylán.

La roya se descubrió a principios de 1970 en los estados productores de café en el norte de Brasil, Bahía, Espíritu Santo y parte de Minas Gerais, en varios cultivares de *Coffea arabica* (22, 33, 34, 63, 66, 81, 82) y en 1971 en Sao Paulo y Paraná, siendo éstos los estados productores más importantes de café en el Brasil.

El descubrimiento de la roya en América del Sur causó la movilización inmediata de científicos en los trópicos americanos y actualmente se están llevando a cabo, en forma dinámica y fluida, investigaciones sobre la enfermedad. Brasil está produciendo cuantiosa información nueva, que será prontamente publicada (62).

Este artículo trata principalmente sobre la enfermedad, como ocurre actualmente en América del Sur, poniendo énfasis en los estudios más recientes en relación con la diseminación del patógeno, la influencia del ambiente, posibilidades de combate, y el efecto sobre la economía de América Latina. No pretende ser una revisión completa de literatura sobre la roya del café y no incluye mucha de la información anterior (20, 71) obtenida a través de décadas de estudio de la enfermedad y el hongo patógeno en Asia, Africa y Portugal.

---

1

Dirección actual: P. O. Box 226 — Antigua, Guatemala, C. A.

## Ceylán hace 100 años

Debido a que la planta de café (*Coffea arabica*) es originaria de Etiopía, se cree que la herrumbre se originó en las montañas de este país africano y en Uganda (83); en el noroeste de Africa ya poseía nombres locales. Un explorador inglés descubrió la enfermedad en 1861 en la región del lago Victoria en Africa Oriental, afectando al café silvestre. Esta enfermedad fue encontrada en Ceylán en 1869, en la India en 1870, en Sumatra en 1876, en Java en 1878 y en las Filipinas en 1889. En 1913 cruzó desde Kenya al Congo, donde fue encontrada en 1918, extendiéndose hacia Africa Occidental, la Costa de Marfil (1954), Liberia (1955), Nigeria (1962-63) y Angola (1966) (20, 83).

En cuatro años devastó las plantaciones de café de Ceylán, y en sólo 28 años paralizó todas las exportaciones de café de dicho país. Ceylán entonces producía aproximadamente 42 millones de kilogramos de café anualmente, y la *Hemileia* redujo su producción a menos de 3 millones de kilogramos. Las 68787 hectáreas que Ceylán tenía en 1866-68 fueron reducidas a 14170 en 1893-95. Entre los años 1869 y 1878, la producción de café mermó más del 75 por ciento y ya para 1890, casi toda el área cafetalera fue abandonada (20). Los cultivadores tornaron el cultivo de té y hule (*Hevea*) en lugar de café arábigo.

Durante esos años, científicos ingleses empezaron a estudiar la enfermedad. Berkeley & Broome (6) denominaron al patógeno *Hemileia vastatrix* en 1869. Marshal Ward, de 1880 a 1882, estudió en detalle la enfermedad en Ceylán, incluyendo el ciclo biológico del hongo (75, 76). Dos royas o herrumbres atacan la planta de café: *Hemileia vastatrix* y *H. coffeicola*. De éstas, solamente *H. vastatrix* está ampliamente diseminada en el mundo.

Debe enfatizarse que en la época en que la industria cafetalera de Ceylán fue destruida, no existían medios modernos para reducir los efectos de la roya, como los que actualmente se tienen.

## DESCUBRIMIENTO EN EL BRASIL

Varios fitopatólogos predijeron que la roya del cafeto cruzaría el Océano Atlántico e invadiría el Hemisferio Occidental (8, 25, 39, 55, 60, 64, 65, 77, 79). En 1953, Wellman (78) dijo que la historia nos ha demostrado que la enfermedad *Hemileia* no se mantuvo dentro de las fronteras de países o continentes. Debido a que la enfermedad es propagada en forma natural por el viento y tormentas, las plantas de café en el Hemisferio Occidental serían ciertamente afectadas en un futuro cercano.

En 1960, Rayner escribió: "La dispersión comparativamente reciente de la roya de la hoja en Africa Occidental, con el aumento inevitable del inóculo allí, presenta un peligro a las regiones cafetaleras del nuevo mundo, ya que sus uredosporas podrían ser transportadas desde Africa por las corrientes nororientales de viento" (55).<sup>1</sup>

El autor escribió en 1960 que aunque la roya del café todavía no ha invadido el continente americano, el peligro de su introducción y diseminación en las plantaciones de América Latina es inminente, y que con el reciente aumento en el tráfico aéreo internacional, las esporas de la enfermedad muy bien podrían cruzar las barreras oceánicas y sobrepasar cuarentenas establecidas (64). Riker, en 1964, llegó a proponer ciertas medidas de erradicación al ser descubierta (60).

Mayne (39) dijo en 1969: "La *Hemileia vastatrix* todavía constituye un problema y peligro. Es imposible creer que la inmunidad disfrutada por el Hemisferio Occidental pueda ser permanente."<sup>2</sup>

Gutiérrez y Bianchini (32) manifestaron en 1968, que con excepción de Puerto Rico, la roya no se ha establecido o encontrado en el Hemisferio Occidental. Ellos no sabían entonces que la herrumbre ya estaba allí bien establecida.

El 17 de enero de 1970, el fitopatólogo Arnaldo Medeiros se encontraba trabajando sobre una enfermedad del cacao en el municipio de Aurelino Leal, en Bahía, Brasil. Accidentalmente tocó algunas hojas de café afectadas con la roya, de plantas creciendo en el margen de una plantación de cacao, y así descubrió la roya (40). Poco después la identificación de la herrumbre fue confirmada por Robbs y Bitancourt del Brasil, y D'Oliveira de Portugal (34, 63, 66, 68). Wellman, Desrosiers y Schieber visitaron luego las áreas afectadas, en compañía de Sebastião del Brasil, y reportaron que la enfermedad se encontraba firmemente establecida en el continente americano (22, 63, 66, 80, 81).

## DISEMINACION DE LA ROYA EN EL BRASIL

Ha existido cierta controversia sobre la forma de diseminación de las uredosporas de *H. vastatrix*.

---

1 Rayner, R. W. 1960. Rust disease of coffee. II. Spread of the disease. *World Crops*, 12:222-24

2 Mayne, W. W. 1969. A century of coffee leaf disease, 1869-1969. *Biologist* 16:58-60

## Diseminación por el viento

Algunos científicos indicaron que la diseminación natural de la enfermedad era por medio del viento y tormentas (55, 66, 78). Rayner (55) especuló sobre la diseminación de la roya del cafeto de Africa a Ceylán, indicando: "Parece muy probable que fue llevada allí por el monzón suroeste, desde el Cabo de Africa"<sup>1</sup>



Figura 1. *Movimiento aéreo durante el mes de enero en Brasil.*

<sup>1</sup> Rayner, R. W. 1960. Rust disease of coffee. II. Spread of the disease. *World Crops*, 12:222-24

El pensó que la diseminación comparativamente reciente de la roya de la hoja en Africa Occidental, con el aumento inevitable del inóculo, presentaba un peligro para las regiones cafetaleras del nuevo mundo, ya que las uredosporas de *H. vastatrix* pueden ser llevadas desde Africa por los vientos del noroeste.

Schieber sugirió en 1970, que el viento jugaba un importante papel en la rápida diseminación de la herrumbre en el Brasil, aunque no se sabía con qué facilidad y a qué distancias el viento diseminaba las uredosporas de *H. vastatrix* (Fig. 1, 5). También escribió: "En Brasil ... las corrientes de aire en la región afectada eran de norte a sur, y se estima que es en esta dirección que se ha diseminado la *Hemileia*....." (66).<sup>1</sup>

Más tarde, el mismo año (1970), investigaciones efectuadas por el Departamento Nacional de Meteorología del Brasil (5), indicaron que durante enero (Fig. 1) las corrientes de aire pudieron llevar las uredosporas hacia los estados de Sao Paulo y Paraná, entonces todavía libres de la roya. Es interesante notar que la *Hemileia* fue encontrada en el estado de São Paulo durante enero de 1971, como era de esperarse por la dirección prevaleciente de los vientos.

A principios de 1971, se efectuaron pruebas de trapeo en Brasil, utilizando una avioneta (35). El Instituto Brasileiro do Café (IBC), en colaboración con el Instituto Biológico de São Paulo y la Escuela Superior de Agronomía de Labras, efectuó vuelos a 50, 100, 250, 500, 1000 y 1500 metros de altura, utilizando portaobjetos con vaselina solida y con aspersion (spray) de silicona. Estas pruebas revelaron uredosporas de *H. vastatrix* hasta 1000 metros de altura. Se atraparon a una distancia de 150 kilómetros de un área afectada en Jabotical, Sao Paulo. Este estudio indicó una correlación positiva entre el número de esporas atrapadas y la proximidad a las áreas afectadas. Un mayor porcentaje de germinación de las uredosporas se obtuvo en las esporas atrapadas en el rociado de silicona, que en los portaobjetos con vaselina (35).

Martínez (comunicación personal), recientemente encontró uredosporas a alturas elevadas sobre el estado de Paraná (aún libre de la roya) mientras la *Hemileia* se extendía rápidamente a través del estado de São Paulo.

Investigaciones llevadas a cabo por el Departamento Nacional de Meteorología del Brasil en 1970, indicaron la posibilidad de que esporas de *Hemileia*

---

<sup>1</sup> Schieber, E. 1970. Viaje al Brasil y el Africa para estudiar y observar el problema de la herrumbre del café. Rept. Org. Int. Reg. San. Agr. 109 p.

podieran haber sido llevadas por corrientes de aire a través del Océano Atlántico, desde el Africa hasta Brasil (7000 km) por medio de los vientos alisios (5). La circulación del aire sobre el Atlántico, a lo largo de la costa africana, podría llevar esporas originadas en áreas al sur de los 20<sup>os</sup> (Fig. 2). Al norte los vientos convergen hacia el Continente Africano. Se estimó que, con los 20<sup>os</sup> corrientes de viento con velocidades de 20 km por hora, las esporas necesitarían de 15 días para llegar a la Costa Atlántica del Brasil. Recientemente Bowden et al sugirieron que corrientes de vientos alisios pudieron haber traído esporas de *Hemilela* a través del Atlántico, desde Angola a Bahía Brasil en 5 a 7 días (12).

Estudios por Chaves y sus colaboradores en Viçosa, Brasil, darán prontamente información sobre el período de viabilidad de las uredosporas (19).

Es sabido ahora que *H. vastatrix* es realmente llevada por el viento, y que la roya se ha extendido a través del extenso estado de São Paulo, en una forma irregular durante un período de 10 meses en 1971. Esto sugiere que es llevada por el viento, al igual que las royas de los cereales.

En la misma forma que la roya "*Puccinia polysora*, ahora reportada para Hawaii, ha circundado el mundo entero, extendiéndose de oeste a este, durante el presente siglo" (70).<sup>1</sup>

#### Diseminación por agua de lluvia

Investigadores en Africa Oriental informaron que las uredosporas pueden ser dispersadas por el agua a distancias cortas (15, 46, 47, 49).

Las uredosporas de la roya tienen que alcanzar los estomas situados en la superficie inferior de la hoja para infectarla. Rayner (55, 57, 58) estudió la mojadura del envés de las hojas del café. Encontró que aunque algunas mojaduras resultaban de gotas de lluvia que caían directamente sobre la superficie del envés de las hojas del café al ser movidas por vientos turbulentos, "la mayoría de las mojaduras fueron por gotas de lluvia que rebotaban de las superficies superiores de las hojas localizadas más abajo; y...estas salpicaduras pueden llevar consigo esporas depositadas sobre las superficies." Bock (9) encontró que las salpicaduras de lluvia dispersan las uredosporas en proporción directa a la cantidad y la intensidad de las lluvias.

---

<sup>1</sup> Schlieber, E., Laemmlen, F., Martínez, A. 1971. *Puccinia polysora* rust on corn, established in Hawaii. *Phytopathology* 62: in press

Nutman y Roberts (48, 49) tomaron fotografías de alta velocidad con flash, de gotas de lluvia cayendo sobre las hojas de café. Ellos encontraron que, cuando la gota de lluvia toca la superficie de la hoja de café, la gota se fragmenta y se dispersa por varias pulgadas en todas direcciones. Algunas de las gotitas diminutas fueron interceptadas por el envés de hojas vecinas. Cuando fueron pequeñas gotitas de agua, delicadamente depositadas sobre la superficie de una pústula; ésta soltó inmediatamente las esporas de su adhesión mutua, y flotaron a la superficie de la gota.

#### Diseminación por plantitas infectadas

Butler (17) indicó que el patógeno puede ser llevado por material vegetativo, y que su introducción en el Asia probablemente fue el resultado del movimiento de plantitas de café de una isla a otra, a través del Océano Indico. Schieber (66) también sugirió que la herrumbre llegó del Africa al Brasil en material vegetativo, tal como plantitas de café, o de cacao, funcionando estas últimas como vector. Esto fue reforzado por sugerencias de J.M.J. Sebastião (comunicación personal) y también con observaciones hechas en el Brasil, donde hasta plantitas en estado de mariposa (100 días de edad) tenían pústulas de *H. vastatrix*. Nutman y Roberts (49) indicaron que: "existe mucho más movimiento de material vegetativo entre países y dentro de los países, de lo que generalmente se cree."

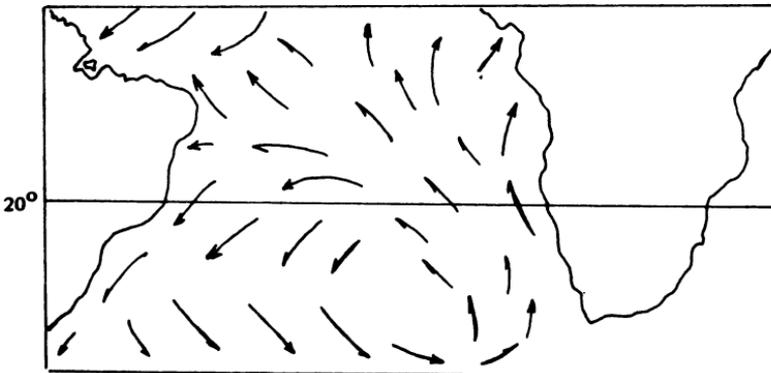


Figura 2. Superficie de la circulación aérea entre Africa y Brasil.

## Diseminación por insectos

Crowe (21) reportó que dos especies de Hymenoptera eran vectores de *H. vastatrix* en Africa Oriental. El IBC reportó en 1970. evidencia de la diseminación por insectos, sugiriendo que algunos insectos, como la abeja de miel, pudiesen llevar uredosporas. Amante et al (1) encontraron que uredosporas de *H. vastatrix* se adherían al cuerpo de *Drosophila sp.* en la región cafetalera de Franca en São Paulo. Este insecto, al igual que el *Anastrepha sp.* y la *Ceratitidis sp.* son encontradas especialmente durante la época de maduración de los frutos de café. Otro posible vector es el minador de la hoja del cafeto (*Perileucoptera coffeella*).

## Diseminación por el hombre

Con los viajes en jet de hoy día, los visitantes de otros países pueden llevar uredosporas viables de la herrumbre (49, 66). Un informe que apareció en "Nature" (4) asumió que la roya fue introducida en el Brasil por el hombre.

## COMO OCURRE LA DEFOLIACION

La roya del café es típicamente una enfermedad de la hoja, aunque pueden encontrarse pústulas algunas veces en los frutos. Las uredopústulas que se desarrollan en 3-4 semanas (dependiendo de las condiciones climáticas) en el envés de las hojas (Fig. 3) es la causa de la caída de las hojas. La naturaleza de defoliación no se ha estudiado a fondo. Nutman y Roberts (49) informaron que hasta una sola pústula puede causar la caída prematura de la hoja. Esta defoliación prematura debilita las plantas de café y afecta año con año la producción de madera necesaria para producir la futura cosecha (66, 68, 74). La roya del café usualmente no mata a la planta en América Latina, pero la debilita progresivamente, dando por resultado una severa defolicación. Las nuevas hojas son afectadas después de que las viejas se han caído (Fig. 4). La defoliación ocurre en áreas limitadas dentro de la plantación y no afecta a todas las plantas al mismo tiempo.

La herrumbre del café es similar a la enfermedad conocida como "ojo de gallo" causada por *Mycena citricolor*, pero la defoliación causada por *Hemileia* ocurre en una forma más espectacular (Fig. 4).



Figura 3. *Uredopústulas* que se desarrollan sobre la superficie de las hojas y causan su caída.

Observaciones recientes efectuadas por el autor (69) en Tres Pontas, Minas Gerais, indican que áreas definidas de infección dentro de la plantación se deben al microclima y a la topografía del terreno, así como a la posición de las plantas y su orientación respecto a los rayos solares. La severidad del herrumbre es diferente en la parte orientada al este, de la oeste, en la planta del café. Los arbustos de café a lo largo de caminos o márgenes de la plantación mostraron menos defoliación. Además, existe una relación entre la aereación en las filas de cafetos y su defoliación.

Lo que debe enfatizarse es que la *Hemileia* se observa en pequeñas áreas bien definidas dentro de la plantación, debido a la microecología y topografía (69).



Figura 4. *Defoliación causada por el progreso de la roya hacia arriba desde las primeras ramas.*

#### ESTUDIOS ECOLOGICOS EN EL BRASIL

Bock (10) estudió la íntima relación entre las condiciones climáticas de las regiones observadas en el este de Africa y la intensidad del desarrollo de la roya. La enfermedad es más severa en las regiones húmedas y calurosas al oeste

del Valle Rift en Kenya, que en las regiones secas y más frescas al este del Valle Downson observó en 1921 que la severidad de la roya disminuía en las mayores altitudes y Bock (10) también demostró que, a 1830 metros de altitud, en Kenya, con una precipitación pluvial de 830 milímetros, la roya del café no era de importancia económica. Según Bock, esto es debido al efecto de temperaturas más bajas que afectan el desarrollo de la enfermedad. También manifestó que cuando la temperatura no es un factor limitante, la severidad de la enfermedad depende, primero de la distribución y la intensidad de la lluvia, seguido por el número de esporas del patógeno en el follaje, y finalmente del grado de defoliación.

Brown y Coheme (13) reportaron que el desarrollo de la enfermedad es siempre localizado y su dispersión relativamente lenta. Debido a esto, su control es determinado por el desarrollo de la enfermedad en relación a las condiciones climáticas. Esto también fue observado por el autor (67, 69) en Tres Pontas, Minas Gerais, Brasil.

La relación entre las condiciones climáticas y el desarrollo de la roya y su severidad debieran ser consideradas a niveles de plantación. Es por esto que el autor ha comparado el desarrollo de la roya del café en las plantaciones, con la enfermedad "Ojo de Gallo", causada por *Mycena citricolor* (66, 68, 69).

Investigadores del Departamento Nacional de Meteorología en Brasil (5) han comparado los climas de Kitale y Kiambu en Kenya, con Londrina en Paraná, Brasil (Fig. 6). En las dos regiones africanas, el desarrollo de la enfermedad es leve, debido a la baja temperatura (10). Los investigadores del Brasil querían anticipar el desarrollo de la enfermedad y su severidad, de acuerdo con las condiciones climáticas, si la roya se establecía en Londrina, Paraná. Un estudio similar, realizado por Páez (52) para predecir la incidencia de la roya del café en Costa Rica, actualmente libre de la roya, indicaba que debían hacerse investigaciones para detectar la roya en el país, durante períodos de altas temperaturas y en época lluviosa.

Los estudios ecológicos en Brasil y en el resto de Latinoamérica revisten importancia para investigar en dónde sería más severa y devastadora la herrumbre. También servirían de base para introducir variedades resistentes, mientras que las variedades susceptibles podrían usarse en regiones donde no se desarrolla la enfermedad. Tales estudios también darían una idea de cómo se desarrollaría la enfermedad en otros países del Hemisferio Occidental.

En Brasil se han empezado a determinar las áreas adecuadas para la siembra del café, cuyas condiciones no favorezcan el desarrollo de la roya. En la

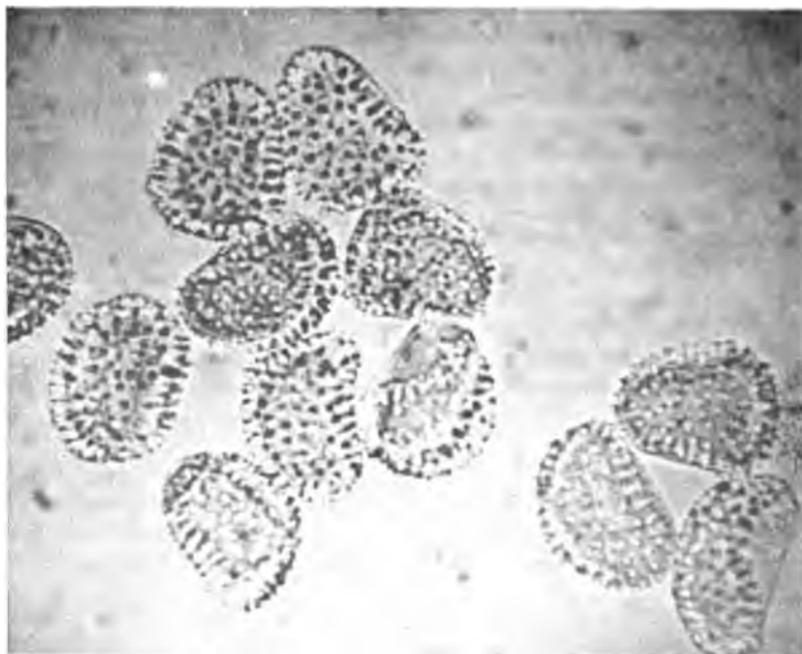


Figura 5. *Uredosporas de la Roya del Café.* (Fotografía cortesía del Coffee Rust Research Center, Portugal).

determinación del período de incubación, estos estudios se basan en la ecuación de Rayner:  $Y = 90,61 - 0,408 X_1 - 0,440 X_2$  que es una estimación espurulación en 50 por ciento de las lesiones. Rayner desarrolló esta ecuación de regresión, relacionando  $X_1$  (temperatura media máxima en °F) y  $X_2$  (temperatura mínima en °F) a Y (período de incubación estimado en días). Matiello determinó que todas las áreas en Brasil, arriba de 700 metros de altitud no son atacadas severamente por la roya (38).

Es necesario determinar la influencia que ejerce la sombra en el cultivo del café en cuanto al establecimiento, desarrollo y severidad de la roya. Los países cafetaleros en América Latina, desde Colombia en América del Sur hasta México, cultivan el café bajo condiciones de sombra. Puesto que en Kenya cultivan el café sin sombra, al igual que lo hacen en Brasil, no existen estudios de Africa Oriental, con relación a los efectos del café en sombra, punto muy importante en el Hemisferio Occidental.

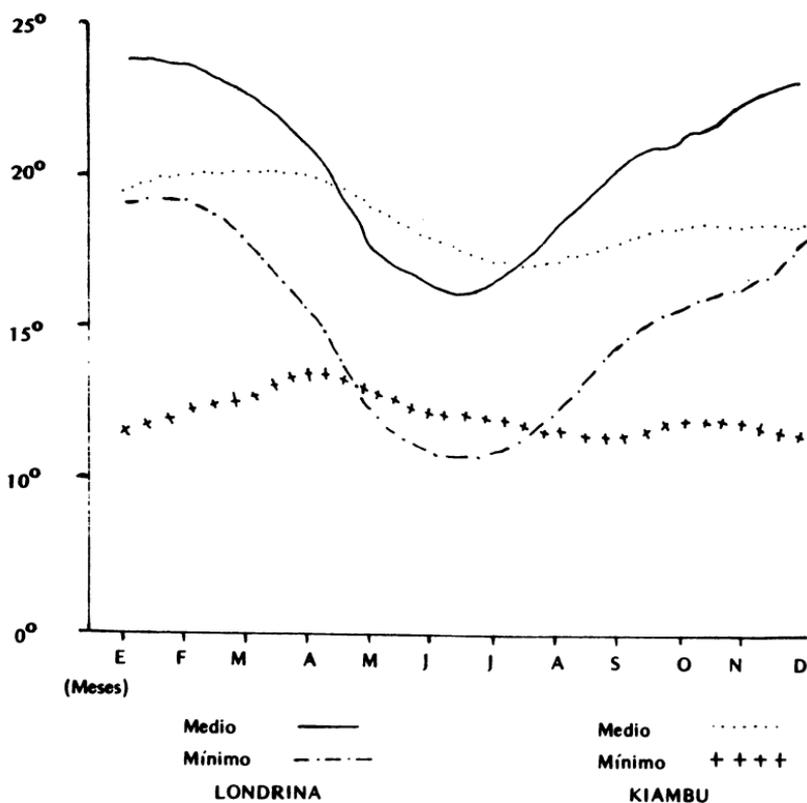


Figura 6. Temperaturas Media y Mínima (C°) en regiones cafetaleras de Kenya (Kiambu) y Paraná, Brasil (Londrina). Del Departamento Meteorológico Nacional, Brasil; (Referencia No. 5)

### FUNGICIDAS CONTRA LA ROYA

En Kenya se cultivan variedades de café, desarrolladas de *Coffea arabica* L. y se ha llevado a cabo estudios intensivos sobre el uso de fungicidas contra el *H. vastatrix*. Aunque se identificó la roya en Kenya, desde 1912, no fue sino hasta 1921 cuando el uso de fungicidas contra la misma, fue estudiado; a pesar de que la mezcla Bordeaux se usó desde 1917 contra la herrumbre en la India (3).

La mayoría de los estudios de Kenya se hicieron desde 1958 hasta 1965, investigando la naturaleza de los efectos del fungicida, la frecuencia y métodos de aplicación (1, 29, 30, 59, 73). Se descubrió que los fungicidas a base de cobre eran consistentemente superiores a otros en el control de la roya. Rayner (54, 59) demostró la acción protectora de los fungicidas a base de cobre, mediante la inhibición de la germinación de uredosporas.

Los científicos de Africa Occidental encontraron que había una relación directa entre el incremento de la enfermedad y la intensidad de la lluvia, siendo esto un factor de importancia al planear las medidas de control. Para lograr un control efectivo de la herrumbre, es necesario que la aplicación del fungicida se haga a principios de la estación lluviosa.

Bock (11), con sus experimentos al oeste del Valle Rift en Kenya, donde la roya es severa, concluyó: (a) el control máximo de la roya de la hoja del café se obtuvo asperjando previamente a la estación lluviosa, (b) el espaciamento de los tratamientos era crítico y (c) la eficacia de los fungicidas a base de cobre se reduce con el aumento de los intervalos entre aspersiones durante las primeras lluvias.

Rayner (5) enfatizó la importancia de la redistribución de los fungicidas de cobre por salpicadura de lluvia en las hojas superiores. Encontró que la eficacia de las aspersiones estaba relacionada con la cantidad de residuos de fungicida dejados en las hojas. Varios investigadores en Africa Oriental reportaron que 7 kilogramos de fungicida de cobre al 50 por ciento, por acre, en cualquier volumen de agua, da los mejores resultados. Wallis y Firman (73) encontraron que, para obtener un buen control de la herrumbre, se debe aplicar una aspersión a base de cobre, con un mínimo de 60 miligramos de cobre por metro cuadrado de superficie de follaje. Firman y Wallis (30) encontraron efectivas las aspersiones de bajo volumen, utilizando 50 miligramos de solución con 2-4 gramos de fungicida de cobre al 50 por ciento por árbol en Kenya, aplicándose éste con un aspersor portátil.

El uso de cobres en Kenya ha demostrado el "efecto tonificante" de este fungicida, dando por resultado el incremento del rendimiento en una proporción de 215-325 kilogramos por hectárea. Wallis y Rayner (72) también encontraron que las aspersiones de cobre aumentaban la densidad del follaje cuando se usaba para controlar la roya. Burdekin (14, 16), mediante la prueba de varios fungicidas, encontró que las sustancias químicas cúpricas daban más rendimiento que los fungicidas de zinc, que disminuían el número de pustulas y la caída de las hojas. Park y Burdekin (53) probaron la eficacia de los cobres en Tanzania, con resultados similares. Griffiths (31) reportó que Difolatan y Benlate, usados contra las enfermedades de la cereza del café en Kenya, suplementaban la acción de los cobres contra la roya de la hoja.

Newhall y Orillo (44) informaron sobre un fuerte aumento en el rendimiento en las Filipinas con 5–10 aplicaciones anuales de fungicidas de cobre<sup>1</sup> (Bordeaux y óxido cúprico); las sustancias orgánicas, tales como maneb, captan, ferbam y otras, proporcionaron un control inadecuado de la enfermedad.

Pruebas llevadas a cabo por el IBC en Santa Teresa, Espíritu Santo, demostraron que el zineb, el óxido cúprico y el Bordeaux daban los porcentajes más bajos de roya en las hojas (37). Se están llevando a cabo estudios para comparar los cobres y dithane y para probar nuevos fungicidas sistemáticos, bajo condiciones de laboratorio, invernadero y campo, en el Brasil (36, 37).

Se están usando aspersores portátiles comunes, aspersores mecanizados y equipo de aspersión adaptado a tractores, para controlar la roya en Africa Oriental. Aunque la aplicación aérea no controla adecuadamente la roya, se usa contra enfermedades del café en cereza en Africa Oriental (18, 66).

Diferentes tipos de equipo, incluyendo aquéllos para la aplicación aérea, están siendo estudiados en Brasil. La topografía del terreno y densidad de árboles entre y en las filas, están siendo estudiados en Brasil para obtener un control efectivo. Se establecen las plantaciones de café en Brasil, con una densidad alta de árboles, sin considerar el uso de fungicidas en el futuro. Habría que hacer una poda para el uso efectivo de sustancias químicas contra la *H. vastatrix* (18, 69).

Respecto al costo de aplicación de fungicidas, Nutman y Roberts (49) informaron que costó US\$810.000 en Kenya, para proteger 18750 hectáreas de café. Calcularon un reintegro de US\$2.910.000 por un aumento en el rendimiento de 240 kilogramos de café por hectárea.

Narasimhaswamy (43) calculó el costo de la aspersión en la India e informó que el costo del uso de fungicidas era de 10 por ciento del costo total, resultando en un aumento en el rendimiento de 98 por ciento.

Chaves et al (19) escribieron que en Brasil, "La adopción de programas de aspersión contra la roya del café dependía mucho de las condiciones de las fincas, el "saber" de los finqueros, y por supuesto, si son o no económicamente factibles las soluciones de aspersión."<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Chaves, G. M., Filho, J. da C., de Carvalho, M. G., Matsuoko, K., Coelho, D. T., Shimoya, C. 1970. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*, Berk & Br.) Revisao de literatura com observações e comentários sobre a enfermidade no Brasil. Selva 30 (Ed. Esp.): 1–75

Mesquita (41) llegó a la conclusión, por estudio de otras enfermedades del café en la Zona de Mata en Brasil (Minas Gerais), que los finqueros no pueden permitirse el lujo de un programa de aspersión del café, si los niveles de rendimiento son inferiores a 620–900 kilogramos por hectárea.

Camargo (18, 52) declaró que para poder usar fungicidas contra la roya en Brasil, la producción por hectárea tenía que aumentar para cubrir el costo de la aplicación del fungicida. Las plantaciones de café, con un promedio de 500 kilogramos de café procesado por hectárea, tienen un costo de producción alto, pero recientes trabajos en el Brasil han demostrado que su costo, incluyendo el uso de fertilizantes, fácilmente dobló el rendimiento.

Wallis (74) calculó un costo anual por hectárea de US\$67,00 por fungicidas y el costo de su aplicación, basado en experiencia obtenida en África Oriental y los precios de 1970 en el Brasil. Además, manifestó que si los finqueros en las áreas intermedias de riesgo llevaban a cabo un programa protector completo de aspersión, entonces el desembolso sería aproximadamente de US\$74 millones anualmente, lo que equivale a 9 por ciento del total de divisas adquiridas por medio de la exportación de café en Brasil en 1968/1969, pero por supuesto no todo el desembolso sería en moneda extranjera.

### CAMBIO A VARIEDADES RESISTENTES

La búsqueda de variedades resistentes ha sido llevada a cabo, principalmente por el internacionalmente conocido Coffee Rust Research Center en Oeiras, Portugal. El fitopatólogo D'Oliveira y sus colaboradores, desde que se estableció el Centro en 1955, han buscado fuentes de resistencia en el género *Coffea* hacia muchas razas de *H. vastatrix* (23-26, 45). También Rayner (56) y otros han llevado a cabo trabajos sobre resistencia en África Oriental.

La resistencia a la raza II se ha encontrado, por ejemplo en K7, SL-6 y KP 532. Firman y Hanger (28) ensayaron un número de variedades de café arábigo, bajo condiciones de campo, en lo que ellos llamaban pruebas de exposición a la roya de varias razas, sobre todo, la I y la II del *H. vastatrix* presente en Kenya. Estudiaron el comportamiento de las variedades SL-6 y K7, extensamente recomendado en Kenya, donde la roya es severa. La variedad K7, susceptible a la raza I, es resistente a la raza II de *H. vastatrix*, pero segregaba alrededor del 25 por ciento hacia la susceptibilidad a esta variedad. Resultados similares que no han sido publicados se obtuvieron en Brasil.

Orillo y Valdez (50) reportaron de las Filipinas, que algunas selecciones resistentes a segregados de café arábigo, produjeron hasta 19 por ciento de plantillas susceptibles.

Se cree que tomaría 10 años reponer una variedad susceptible, con otra que fuera resistente, en una región específica. Al igual que las enfermedades de la roya, afectan otras plantas cultivadas; el cultivo de la variedad resistente sería una tarea continua, puesto que pueden aparecer nuevas razas de patógeno en el futuro.

La resistencia vertical a la raza II del patógeno presente actualmente en el Hemisferio Occidental, es lo que necesita Brasil para un futuro inmediato; sin embargo, la resistencia horizontal (encontrada ya en plantas de *C. Arabica* en Angola y Brasil) sería deseable si es posible usarla (67). Brasil empezó a buscar resistencia en 1952 (Bettencourt y Carvalho 7). Carvalho también estudió la resistencia hacia la raza II del patógeno presente ahora en América del Sur. Brasil ha empezado pruebas de adaptación en Caratinga, Minas Gerais; Venda Nova y Marilandia, Espírito Santo y Jaguaquara en Bahía (IBC, 1971). Estas regiones son todas ecológicamente distintas.

Varios países latinoamericanos, productores de café, introdujeron de inmediato materiales resistentes de Portugal y África. La meta es encontrar la combinación ideal de resistencia, adaptación agronómica y buena calidad.

Ya que el café es cultivado en condiciones ecológicas diversas en los trópicos americanos, los estudios de adaptación serán de importancia primordial. Esto significa que el cambio a variedades resistentes sería un proceso lento, cuyo impacto se sentirá sólo después de varios años.

## ASPECTO ECONOMICO E IMPACTO

Se puede ver la importancia del café en América Latina por el Informe de Rockefeller de 1970, que decía: "Se ha calculado que la baja de un centavo por libra en el precio del café significa una pérdida de US\$55 millones en divisas para 14 países que producen café en el Hemisferio Occidental."<sup>1</sup>

Latinoamérica cultiva más café que África y Asia. La producción de café, su procesamiento y su mercadeo proporcionan empleo a millones de personas. Ya que varios países del Hemisferio Occidental dependen de la venta del café para obtener divisas (Cuadro 1), es comprensible la preocupación actual por la roya *Hemileia* en el Continente Americano.

---

<sup>1</sup> Rockefeller, N. La calidad de la vida en las Américas. Informe sobre América Latina, presentado por una Misión Presidencial de los Estados Unidos de América.

Como declaró Wallis (74), en relación a Brasil "Tiene que hacerse algún intento para anticiparse al impacto de la roya del cafeto sobre la producción del café. En cualquier país esto sería difícil y para un área tan enorme como lo es Brasil, es particularmente arriesgado."<sup>1</sup>

La declaración anterior es también aplicable al resto de América Latina, al extenderse la roya, pero algunos países experimentarán un efecto económico de distinta proporción. La enfermedad, tarde o temprano, se extenderá a través de todas las áreas cafetaleras de América Latina, y su impacto económico variará de un país al otro (27), como ocurre entre las regiones cafetaleras del norte de Brasil y las de São Paulo y Paraná en el sur.

Un aspecto económico a considerarse es el uso de fungicidas. En algunos países (Costa Rica, El Salvador y Guatemala) los finqueros saben cómo aplicar sustancias químicas para controlar algunas enfermedades importantes existentes del café, pero en otros tendrán que aprender a usar fungicidas en plantaciones de café.

Algunas áreas cafetaleras tendrán que cambiar su tipo de administración y la forma tradicional en que siembran café, sobre todo en relación al espaciamiento entre árboles, para poder usar fungicidas. Estos factores influirán sobre los resultados económicos de los cultivos de café en ciertas áreas. Wallis (74) consideró que el uso de fungicidas costaría US\$67,00 por hectárea anualmente; al precio que se recibe por el café en Brasil, esto equivaldría aproximadamente a tres sacos de 60 kilogramos por cada hectárea tratada.

Puede producirse que el impacto económico en el resto de América Latina será importante, puesto que todos los cultivares de café en América Latina son susceptibles a la raza II de roya, encontrada en Brasil. Se cree que tomaría 10 años reponer una variedad susceptible por una que fuera resistente a la enfermedad, debido al problema de adaptabilidad agronómica y cualitativa en las distintas regiones cafetaleras en los trópicos americanos.

Otro factor a considerarse, es la expansión de nuevas áreas cafetaleras para balancear la economía basada en la producción de café. En el caso del Brasil, Wallis (74) dijo: "que prácticamente todos los terrenos adecuados para la siembra del café en Brasil han sido usados al menos una vez para esta cosecha. La expansión hacia el sur está limitada por el riesgo de las heladas y tierra adentro, hacia el oeste, la poca confiabilidad de la lluvia lo convierte en un factor crítico.

---

<sup>1</sup> Wallis, J. A. N. 1970. Coffee leaf rust in South America. A Report to the International Coffee Organization. 49 p.

Hacia el norte, la falta de tierras fértiles, las temperaturas elevadas y ahora la roya del cafeto, limitan las posibilidades para la producción del café en forma económica.”<sup>1</sup>

Muyshondt (42) hizo un reciente análisis del posible impacto de la roya del cafeto en Centroamérica, Panamá y México. Dijo: “Tiene que comprenderse que la importancia de una pérdida económica causada por la roya, directamente sobre la actividad industrial del café, asimismo afectaría profundamente una depresión en las actividades del sistema bancario, a la industria, al comercio e instituciones de servicio; por consiguiente, afectando indirectamente a la clase trabajadora.”<sup>2</sup> Analizó las pérdidas directas e indirectas sobre la industria del café, utilizando datos del área latinoamericana, desde Panamá hasta México, aún libres de la roya. Considerando la producción total para el año 1968–69, de 11,0 millones de sacos de 60 kilogramos con un ingreso de US\$442 millones (calculados a US\$40,00/60 kg) y mano de obra de 155 millones de días/hombre, ha calculado los efectos de la roya en 5–30 por ciento sobre la producción (Cuadro 2).

Como dijo Muyshondt: “Las cifras presentadas en la Tabla 11 muestran que aún pérdidas del 5 por ciento, debidas a la roya, tendrían un impacto real negativo en el desarrollo económico y social de estos países, causando grandes disturbios de orden político interno en cada uno de los países de estas áreas aún libres de la roya en nuestro Hemisferio.”<sup>2</sup>

El efecto más positivo de la roya ha sido el principio de la investigación, para mejorar la tecnología del café en América Latina. Poco después de que se descubriera la roya en Itabuna, el Gobierno Brasileño asignó una cantidad de más de US\$8 millones para programas de estudio para combatir la enfermedad. Programas de investigación y extensión, relacionados con la tecnología cafetalera, han sido también reforzados en Colombia, Costa Rica y El Salvador.

---

1 Wallis, J. A. N. 1970. Coffee leaf rust in South America. A Report to the International Coffee Organization. 49 p.

2 Muyshondt, M. 1971. Posible impacto de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en la economía de los países miembros del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). *Phytopathology* 62: 1

**Cuadro 1. Divisas provenientes de América Latina por las ventas de café en 1968 (datos del Depto. Agrícola de Estados Unidos).**

País	Porcentaje de todas las divisas
Colombia	67.7
El Salvador	42.7
Brasil	41.2
Haití	38.9
Guatemala	33.0
Costa Rica	31.4
Ecuador	17.9
Nicaragua	14.0
Honduras	12.6
República Dominicana	11.9
México	6.3

**Cuadro 2. Posible influencia de la roya del café en el área de Panamá a México (Muyshondt, 42)**

Porcentaje de daños causado por <i>Hemileia vastatrix</i>	Reducción en producción (bolsa 60 kg)	Reducción en ingresos (U.S. dólares)	Reducción en mano de obra (hombre/día)
5	550,000	22,100,000	7,750,000
10	1,100,000	44,200,000	15,500,000
15	1,650,000	66,300,000	23,250,000
20	2,200,000	88,400,000	31,000,000
25	2,750,000	110,500,000	38,750,000
30	3,300,000	132,600,000	46,500,000

## AGRADECIMIENTOS

El autor está en deuda con el Dr. George A. Zentmyer, por sus consejos, sugerencias y revisión del manuscrito. Asimismo agradece a las siguientes personas, quienes le proporcionaron publicaciones recientes e información sobre el tema: Dr. José María Jorge Sebastiao, del Instituto Brasileiro do Café; Sr. Robert C. Moncure, de la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos; Sr. Arnaldo G. Medeiros, del Centro de Pesquisas do Cacau, Itabuna, Brasil; Dr. J. A. N. Wallis, de la Organización Internacional del Café; Sr. William Davis, antiguo Agregado Agrícola en Nairobi, Kenya. También está endeudado con el Dr. Victoria Rossetti y el Dr. Karl M. Siberschmidt del Instituto Biológico de Sao Paulo, Brasil, por sus sugerencias en el manuscrito.



## BIBLIOGRAFIA

1. Amante E., Vulcano, M.A., Abrahao, J. 1971. Observações preliminares sobre a influencia da entomofauna na dispersao dos uredosporos da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*). O. Biológico, 37:102-05
2. Amaral, M., Beduim, C. D. 1970. A ferrugem alaranjada do cafeeiro. *Equipe Técnica de Defesa Sanitaria Vegetal*. Ministerio da Agricultura, Brazil
3. Ananth, K. C. 1969. Timing and frequency of spraying for control of coffee leaf rust in southern India. *Exp. Agr.* 5:117-23
4. Anonymous, 1970. Brazil. Death in the pot. *Nature* 226:997
5. Anonymous, 1970. Influência dos fatores meteorológicos na ocorrência da *Hemileia vastatrix*. *Departamento Nacional de Meteorologia, Brazil*
6. Berkeley, M. J. 1869. *Gard. Chron.* 45:1157
7. Bettencourt, A. J., Carvalho, A. 1968. Melhoramento visando a resistência do cafeeiro à ferrugem. *Bragantia* 27:35-68
8. Bitancourt, A. A. 1970. Observações sobre a ferrugem do cafeeiro nos principais países cafeícolas do mundo. *O Biológico*, 36:263-70
9. Bock, K. R. 1962. Dispersal of uredospores of *Hemileia vastatrix* under field conditions. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 45:63-74
10. Bock, K. R. 1962. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 45:289-300
11. Bock, K. R. 1962. Control of coffee leaf rust in Kenya Colony. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 45:301-13
12. Bowden, J., Gregory, P. H., Johnson, C. G. 1971. Possible wind transport of coffee leaf rust across the Atlantic Ocean. *Nature* 229:500-01
13. Brown, L. H., Cocheme, J. 1969. A study of the agroclimatology of the highlands of Eastern Africa. *FAO Interag. Proj. Agroclim. Tech. Rep.*, Rome, 336 p.
14. Burdekin, D. A. 1960. The effect of Captan and copper sprays on leaf rust and leaf fall of coffee. *Tanganyika Coffee Research Station, Res. Rept.* 1960. Lyamungu, Tanganyika Coffee Board, pp. 56-69
15. Burdekin, D. A. 1960. Wind and water dispersal of coffee leaf rust in Tanganyika. *Kenya Coffee* 25:212-213, 219
16. Burdekin, D. A. 1964. The effect of various fungicides

- on leaf rust, leaf retention and yield of coffee. *E. African Agr. Forest. J.* 30:101-04
17. Butler, E. J. 1918. *Fungi and disease in plants*. Thatcher, Spink, Col. Calcutta, 547 p.
  18. Camargo Vianna, A. C. 1971. Contóle Químico da Ferrugem do Cafeeiro (*Hemileia vastatrix*, Berk et Br.). Seminario Brasileiro de Radiodifusão Rural para o Contróle da Ferrugem do Cafeeiro, Campinas, Brazil
  19. Chaves, G. M., Filho, J. daC., de Carvalho, M. G., Matsuoko, K., Coelho, D. T., Shimoya, C. 1970. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*, Berk. & Br.) Revisão de literatura com observações e comentários sôbre a enfermidade no Brasil. *Seiva* 30 (Ed. Espec.):1-75
  20. Cramer, P. J. S. 1957. A review of literature of coffee research in Indonesia. pp. 41-47 *Inter. Am. Inst. Afr. Sci. Misc. Publ.* 15:1-262
  21. Crowe, T. J. 1963. Possible insect vectors of the uredospores of *Hemileia vastatrix* in Kenya. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46:24-26
  22. Desrosiers, R. 1970. Coffee rust in Brazil, caused by *Hemileia vastatrix*. *Report U.S. Agency Int. Dev* 6 p.
  23. D'Oliveira, B., Rodríguez, C. J. 1959. Progress Report to Ethiopia. *García de Orta* 7:279-92
  24. D'Oliveira, B., Rodríguez, C. J. 1960. A survey of the problem of coffee rust. II. Screening for resistance to *Hemileia vastatrix* on *Coffea arabica*. Lisboa. *Junta Exportação Café*, 46 p.
  25. D'Oliveira, B. 1965. Progress report 1960-1965. *Coffee Rust Res. Center, Oeiras, Portugal*. pp. 7-9
  26. D'Oliveira, B. 1970. El trabajo del Centro de Investigaciones de las Royas del Cafeto de Oeiras, Portugal. Identificación de razas de *Hemileia* y tipos de resistencia. *In Reunión Técnica sobre las Royas del Cafeto*, Inst. Inter-Am. Cien. Agr. San José, Costa Rica. 6 p.
  27. Fernández, O. 1970. Importancia de la roya del cafeto para la economía Colombiana. Mesa Redonda sobre Roya del Cafeto. *Proc. VII Reunión Latinoamericana de Fitositología*. Bogotá, Colombia
  28. Firman, I. D., Hanger, B. F. 1963. Resistance to coffee leaf rust in Kenya. *Coffee (Costa Rica)* 5:49-54
  29. Firman, I. D. 1965. A review of leaf rust and coffee berry disease control in Kenya. *Tropical Agr.* 42:111-18
  30. Firman, I. D., Wallis, J. A. N. 1965. Low-volume spraying to control coffee leaf rust in Kenya. *Appl. Biol.* 55:123-37
  31. Griffiths, E. 1969. Plant Pathology. *In Coffee Res.*

- Found. Kenya. Ann. Rept. 1968-1969:38-43
32. Gutierrez, G. Bianchini, C. 1968. Roya del cafeto, una amenaza permanente para el Continente Americano. *Café* (Turrialba) 9: 3-5
  33. Instituto Brasileiro do Café. 1970. Ferrugem do Cafeeiro. Características da doença e prividencias para seu controle. Ministério da Indústria e Comércio. Inst. Bras. Café-Grupo Erad. Café-GERCA. 32 p.
  34. Instituto Brasileiro do Café. 1970. A ferrugem do cafeeiro no Brasil. Ministério da Indústria e Comércio. Inst. Bras. Café-grupo Erad. Café-GERCA. 75 p.
  35. Instituto Brasileiro do Café. 1971. Vento carrega ferrugem. Informativo Inst. Bras. Café-Grupo Erad. Café-GERCA. 1(4) 7 p.
  36. Instituto Brasileiro do Café. 1971. Brometo inibe esporos da ferrugem. Informativo Inst. Bras. Café-Grupo Erad. Café-GERCA. 1(4) 3 p. 37.
  37. Instituto Brasileiro do Café. 1971. Novos resultados de controle químico da ferrugem. Informativo Inst. Bras. Café-Grupo Erad. Café-GERCA. 1(6) 8 p.
  38. Matiello, B. J. 1970. estudios preliminares de zonificación del cultivo del cafeto en el Brasil, en función de *Hemileia vastatrix*. Mesa Redonda sobre Roya del Cafeto. Proc. VII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia. Bogotá, Colombia
  39. Mayne, W. W. 1969. A century of coffee leaf disease, 1869-1969. *Biologist* 16:58-60
  40. Medeiros, A. G., 1970. Informe sobre *Hemileia vastatrix* en café, en Bahía, Brasil. *Comi. Exec. Pl. Recup. Econ. Rural Lav. Cacaueira*, Río de Janeiro
  41. Mesquita, A. 1969. A cafeicultura e sua combinacao ótima com outras actividades na Zona da Mata, Minas Gerais, 1968-1969. *Thesis, Escola Superior de Agricultura, Univ. Fed. Viçosa, Viçosa, Minas Gerais*
  42. Muysshondt, M. 1971. Posible impacto de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en la economía de los países miembros del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). *Phytopathology* 62: In press
  43. Narasimhaswamy, R. L. 1961. La herrumbre del café (*Hemileia*) en la India. *Café* (Turrialba) 3(9):41-49
  44. Newhall, A.G., Orillo, F.T. 1971. Coffee rust control experiment in the Philipines. *Plant Dis. Repr.* 55:216-19
  45. Noronha-Wagner, M., Bettencourt, A. J. 1967. Genetic study of the resistance of

- Coffea* spp. to leaf rust. I. Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. *Can. J. Bot.* 45:2021-31
46. Nutman, F. J., Roberts, F. M., Bock, K. R. 1960. Method of uredospore dispersal of the coffee leaf rust fungus, *Hemileia vastatrix*, *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 43:509-15
47. Nutman, F. J., Roberts, F. M. 1962. Dispersal of coffee rust *Hemileia vastatrix* B. et Br. *Nature*, 194:1296
48. Nutman, F. J., Roberts, F. M. 1963. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Trans. Brit. Mycol.* 46:27-48
49. Nutman F.J., Roberts, F.M. 1970. Coffee Leaf Rust. *Pest Articles News Summ.* 16:607-24
50. Orillo, F. T., Valdez, R. B. 1961. The selection of coffee species and varieties resistant to coffee rust in the Philippines. *Philippine Agr.* 45:223-334
51. Ortolani, A. A., Camargo Vianna, A. C., Abreu, R. G., 1971. *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Estudos e observações em regiões da África e sugestões a cafeicultura do Brasil*. Inst. Bras. Café, and Sec. Agr. São Paulo. 228 p.
52. Páez, G. 1971. Método de muestreo para el reconocimiento de la roya en Costa Rica. *Inst. Inter-Am. Cien. Agr. Org. Estad. Am., Turrialba, Costa Rica.* 106 p.
53. Park, P. O., Burdekin, D. A. 1964. Studies on the ageing of copper fungicides used to control coffee leaf rust. *Ann. Appl. Biol.* 54:335-47
54. Rayner, R. W. 1957. Leaf Rust. *Coffee Bd. Mo. Bull.* 1935-36:101-110. Nairobi, Kenya
55. Rayner, R. W. 1960. Rust disease of coffee. II. Spread of the disease of coffee. II. Spread of the disease. *World Crops*, 12:222-24
56. Rayner, R. W. 1960. Rust disease of coffee. III. Resistance. *World Crops.* 12:261-64
57. Rayner, R. W. 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) *Ann. Appl. Biol.* 49:497-505
58. Rayner, R.W. 1961. Spore liberation and dispersal of coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. et Br.) *Nature* 191:725
59. Rayner, R. W. 1962. The control of coffee rust in Kenya by fungicides. *Ann. Appl. Biol.* 50:245-61

60. Riker, A. J. 1964. *Reunión del Comité Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria*. 12a. Reunión, San José, Costa Rica. pp. 15-19
61. Rockefeller, N. *La calidad de la vida en las Américas. Informe sobre América Latina, presentado por una Misión Presidencial de los Estados Unidos de América*. 40 p.
62. Rossetti, V. 1970. Medidas tomadas en el Estado de São Paulo con relación a la roya del café. Mesa Redonda sobre Roya del Café. *Proc. VII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia*. Bogotá, Colombia.
63. Sebastiao, J. M. J. 1970. El problema de la roya del café en el Brasil. Enfoque del Instituto Brasileiro del Café. Mesa Redonda sobre Roya del Café. *Proc. VII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia*. Bogotá, Colombia.
64. Schieber, E. 1960. La herrumbre del café y la cooperación internacional. *El Informador Agrícola*, Min. Agr., Guatemala
65. Schieber, E. 1963. La herrumbre del café y el centro de investigaciones en Portugal. *Revista Cafetalera*. 1963:21-23
66. Schieber, E. 1970. Viaje al Brasil y el Africa para estudiar y observar el problema de la herrumbre del café. *Rept. Org. Int. Reg. San. Agr.* 109 p.
67. Schieber, E. 1971. Comparative observations on coffee rust in Brazil and Kenya. *Plant Dis. Repr.* (55):209-12
68. Schieber, E. 1971. Observaciones sobre la roya del café, provocada por *Hemileia vastatrix*, en Brasil y Kenia. *Rept. Org. Int. Reg. San. Agr.* 42 p.
69. Schieber, E. 1971. Informe al Secretario General de GERCA-IBC sobre una visita al Brasil, donde se observaron algunos problemas fitopatológicos del café (unpublished)
70. Schieber, E., Laemmlen, F., Martínez, A. 1971. *Puccinia polysora* rust on corn, established in Hawaii. *Phytopathology* 62: In press
71. Stevenson, J. A., Beam, R. 1953. An annotated bibliography of coffee rust (*Hemileia spp.*) Div. Mycol. Dis. Survey, U.S. Dept. Agr. Aspec. Public. 4:1-80
72. Wallis, J. A. N., Rauner, R.W. Ann. Rept. Coffee Rex. Sta. Ruiru, Kenya, 33. p. 1957.
73. Wallis, J. A. N., Firman, I. D. 1957. Spraying Arabica coffee for the control of leaf rust. *E. African Agr. Forest. J.* 28:89-104
74. Wallis, J. A. N. 1970. Coffee leaf rust in South America. *A Report to the International Coffee Organization* 49 p.

75. Ward, H. M. 1882. Researches on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the "coffee leaf disease." *Linn. Soc. J. (Bot)* 19:229-335
76. Ward, H. M. 1882. On the morphology of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. (The fungus of the coffee disease of Ceylon) (n.s.) 22:1-11
77. Wellman, F. L. 1952. Peligro de introducción de la *Hemileia* del café a las Américas. *Turrialba* 2(2):47-50
78. Wellman, F. L. 1953. The Americas face up to the threat of coffee rust. *For. Agr.* 17:47-52, 64
79. Wellman, F. L. 1957. *Hemileia vastatrix*. Investigaciones presentes y pasadas en la herrumbre del café y su importancia en la América Tropical. Publicado por Fed. Cafet. Am. San Salvador
80. Wellman, F. L. 1970. Rust of Coffee in Brazil. *Plant Dis. Reprtr.*
81. Wellman, F. L. Desrosiers, R., Schieber, E. 1970. The *Hemileia vastatrix* coffee disease established in the American tropics. *Phytopathology* 60:1319
82. Wellman, F. L. 1970. The rust *Hemileia vastatrix* now firmly established on coffee in Brazil. *Plan Dis. Reprtr.* 54:539-41
83. Wellman, F. L. 1970. Coffee yellow leaf rust: World History: Minimizing losses in Tropical America. *Proc. Reunión Técnica sobre las Royas del Cafeto*. Inst. Inter-Am. Cien. Agr., Org. Estad. Am., San José, Costa Rica.

# SIMPOSIO SOBRE LA ROYA DEL CAFE

*(Honduras, Venezuela, Brasil, E. U.)*



**IICA** zona norte

Marzo, 1970



# **SIMPOSIO SOBRE LA ROYA DEL CAFE**

*(Hemileia vastatrix Berk & Br.)*



**IICA** zona norte

---

México, 1975



**Simposio sobre Roya del Café, organizado por el Comité de Fitopatología Tropical de la American Phytopathological Society, durante su reunión en México, en agosto, 1972.**

**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 Carlos Enrique Fernández, Responsable del Programa Cooperativo.**



SIMPOSIO SOBRE LA  
ROYA DEL CAFE  
(*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.)

IICA - Zona Norte

México, 1975



## CONTENIDO

	Pág.
Nota preliminar	
Eddie Echandi .....	7
Resumen de la difusión mundial de la Roya del Café	
Frederick L. Wellman .....	9
Observaciones comparativas de la Roya del Café en los hemisferios Oriental y Occidental	
Eugenio Schieber .....	18
Control químico de la Roya del Café en Brasil	
Geraldo M. Chaves .....	39
Resistencia del café a las royas	
Carlos J. Rodríguez Jr. ....	52



## NOTA PRELIMINAR

Eddie Echandi

Profesor de Fitopatología, Departamento de  
Fitopatología, North Carolina State University  
Raleigh, 27607

La roya del café causada por el *Hemileia vastatrix* Berk & Br., es una de las enfermedades más devastadoras del café. Áreas cafetaleras enteras han sido abandonadas en África y en Asia debido a la roya. A pesar de las advertencias de científicos como el Dr. F. L. Wellman y el Dr. A. J. Riker, ya fallecido, la roya finalmente llegó a Brasil en enero de 1970.

El mérito por el descubrimiento de la roya en Brasil pertenece al Ing. Arnaldo Gómez Madeiros, fitopatólogo del Instituto Brasileiro del Cacao. Madeiros descubrió la roya durante una visita de rutina al campo en el Estado de Bahía. Desde su descubrimiento en Bahía, la enfermedad se ha constatado en otros estados, como: Espírito Santo, Minas Gerais y Sao Paulo. Finalmente, en octubre de 1971, se le observó en el estado productor de café más importante del país, Paraná. En 1972 fue observada en Paraguay.

Como se sabe, la roya del café no es una enfermedad nueva en el Hemisferio Occidental. Apareció por primera vez en Puerto Rico en 1903, en donde fue accidentalmente admitida en plantas experimentales de café introducidas de los trópicos orientales. Afortunadamente debido a una acción rápida la roya fue detectada y destruida.

América Latina produce y exporta más café que cualquiera otra parte del mundo. En 1969 las ventas de café en América Latina representaron el 65.3% de todo el café exportado en el mundo. Prácticamente todos los países latinoamericanos cultivan algo de café. Además las ventas de café son de gran importancia para mantener la posición de intercambio econó-

mico de varios de los países de América Latina. En 1968, el café proporcionó el 67.7% de las divisas extranjeras de Colombia, 42.7% de las de El Salvador, 41.2% de Brasil, 38.9% de Haití, 33% de Guatemala, 31.4% de Costa Rica y otros cinco países latinoamericanos estuvieron entre 11 y 17%. Las operaciones del cultivo y venta de café son también una fuente muy importante de trabajo en los países productores por lo que también influye en la economía interna de esos países.

No hay duda de que el costo de producción del café en ciertas áreas afectadas por la roya aumentará considerablemente, no sólo debido al costo de los fungicidas y su aplicación, sino también debido a que deberán establecerse nuevos métodos de cultivo y las plantaciones viejas deberán ser renovadas a fin de aumentar la eficiencia de los productos químicos. Esto naturalmente implicará menos árboles por área y consecuentemente menos productividad. Debe añadirse a lo anterior que las variedades resistentes de que se dispone son menos productivas que las utilizadas actualmente.

Se sabe que la roya está bien establecida en Brasil. Se sabe también que las condiciones para su diseminación, establecimiento y desarrollo en otros países de América Latina, son extremadamente favorables y que por lo tanto, es sólo un asunto de tiempo para que se extienda a los demás países cafetaleros de este Hemisferio. Sería muy deseable que cuando eso suceda, los países afectados se encuentren preparados para hacerle frente a este grave problema.

La American Phytopathological Society, reconociendo lo que significa la roya para América Latina, ha organizado este simposio a través de su Comité de Fitopatología Tropical, esperando contribuir en esta forma a un mejor conocimiento de la enfermedad y su control. Cada uno de los siguientes trabajos cubre un aspecto importante de la enfermedad. Su distribución mundial ayudará a entender mejor la forma como se ha diseminado la roya en el mundo cafetalero; se compara la roya del Hemisferio Occidental con la del Oriental; la forma como se controla con productos químicos y por último lo que sabemos sobre la resistencia a esta enfermedad.

## RESUMEN DE LA DIFUSION MUNDIAL DE LA ROYA DEL CAFE

Frederick L. Wellman  
Departamento de Fitopatologia  
North Carolina State University  
Raleigh, North Carolina

### *Summary*

Coffee rust, *Hemileia vastatrix*, had been known on wild coffee in Africa since prehistoric times, but was not on commercial plantations anywhere. It was first found on cultivated trees in Ceylan in 1867-68; in two years it was in India, and moving further. This is shown in a table of main dates of observed spread of the rust. By 1890 it had swept over thousands of miles in the eastern tropics and by the 1960s no important coffee country in the eastern hemisphere was rust free. However, there was no rust in the Americas. Meanwhile, 1890-1966, rust disease was intensifying in west Africa. It finally moved across the strip of ocean between west Africa and east Brazil and was identified on coffee in the State of Bahia in 1970. Since then it has gone into all coffee producing parts of Brazil, is also in Paraguay. Without a doubt more spread is to be expected on both hemispheres.

El café ha sido cultivado en las Indias Occidentales y en América Tropical por cerca de 300 años. Por todo ese tiempo ha estado libre de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), por lo que ha sido cultivado a tal punto que, de todos los productos de la América Tropical, el café es el que más dinero produce.

Como es bien sabido, las royas destruyen las cosechas, y la que ataca las hojas del café ha sido clasificada como una de las ocho enfermedades más serias de los cultivos agrícolas (Figura 1). No fue sino hasta casi cien años después de su descubrimiento que se llegó a la conclusión de que la roya del café puede ser controlada. Brevemente, los síntomas producidos por la roya del café son: manchas redondas, amarillas a anaranjado amarillentas en el envés de las hojas. Estas se agrandan y aumentan en número, y a consecuencia de esto, las hojas se desprenden y la producción llega a ser casi nula. Según varios estudios, la enfermedad se originó en los bosques vírgenes de Etiopía, en África.

#### *Aparición y diseminación*

Desde tiempos prehistóricos, los negros, los cazadores y los guerreros africanos comían café. Ya sea en forma de barras hechas de granos de café crudo y molido compactado con grasa o bien los granos secos con especias que comían como nueces. La gente de la ciudad tostó y molió los granos para obtener una bebida. En los viejos tiempos tribales, los árboles de 100 años o más recibían un nombre, se les protegía y se les tenían como sagrados. Se consideraban propiedad de los jefes e individuos principales de las tribus.

Yo ví algunos de estos árboles en Uganda y pude reconocer las hojas un tanto manchadas con roya.

Cuando le mencioné la roya a los miembros de las tribus que cultivan café, obtuve de ellos reacciones de preocupación. Estos individuos sabían que desde los tiempos más remotos, y por lo que habían aprendido a través de viejas historias, siempre había habido árboles que se defoliaban más de lo normal. Los nativos tenían dos nombres para esta enferme-



**Fig. 1.** El ataque de *Hemileia vastatrix* sobre café arábica común causa defoliación severa. Esta fotografía muestra la pérdida de las hojas, que forman un colchón de hojas enfermas sobre el suelo. La producción de un árbol así es nula. Fotografiada en Bahía, Brasil, 1970.

dad, uno monosilábico "uagh", y el otro usado en Etiopía, "sagot". Para mí esto es una indicación de la antigüedad de la roya en el noreste de África, ya que en cualquiera otra parte y gente de cualquier raza, la conocía por el nombre de roya o traducciones de la palabra roya.

Los europeos se enteraron de la roya por primera vez, por medio del estudioso y observador inglés Grant. Grant recorrió los lugares más remotos del África y al ver la roya del café la reconoció como una enfermedad similar a la roya de los cereales. Al escribir su informe, que fue publicado en 1861, Grant mencionó que los cafetos silvestres de la región del lago Victoria-Nyansa estaban atacados por roya. Esta fue la primera vez que el nombre de roya fue usado en conexión con el café.

En aquellos días, el país mayor productor de café era Ceylán. En 1868 un caficultor de Ceylán encontró en una loma tres o cuatro árboles que de pronto habían perdido sus hojas. En esos días se encontraba en Ceylán un botánico micólogo inglés llamado Thwaites. Le informaron del daño y al año siguiente Thwaites notó que la enfermedad se había extendido rápidamente. Mientras tanto se enviaron muestras de la enfermedad a Inglaterra, al profesor Reverendo Miles Berkeley. Berkeley en 1869 describió el hongo y designó *Hemileia* el género, por la forma de media luna de las esporas y nombró la especie *vastatrix* por la condición devastadora de la enfermedad.

Poco tiempo después se descubrieron árboles enfermos por toda la isla de Ceylán y muchas plantaciones fueron destruidas. Fue así como en pocos años los exportadores de café, y las grandes compañías abandonaron Ceylán. El efecto económico de la roya fue dramático. El hambre, el crimen y los suicidios cundieron por el país, y la isla se arruinó como productora de café.

Por otro lado, otras cosas sucedían. Gran cantidad de inóculo se concentró en Ceylán, así como en las plantaciones de café del noreste de África. Con esa gran masa de esporas concentrada en esos lugares, la enfermedad se extendió rápidamente. No existen pruebas en cuanto a cómo se extendió,

pero siguió la dirección de los vientos huracanados, ya sea a lo largo de la frontera este de Africa o sobre el Océano Indico en dirección a Ceylán. Lo cierto es que la *Hemileia* se encontró muy pronto fuera de Ceylán y de los montes de Etiopía. En dos años estaba en el sur de India. A partir de entonces ya los caficultores estaban alerta y en donde aparecía la roya se reportaba de modo que el resultado fue la clásica historia de cómo se expande una enfermedad inexorablemente de país a país.

En un periodo de 15 años la roya se había extendido miles de millas hacia el Este hasta las islas de Sumatra y Java, así como a las Filipinas. Durante ese mismo periodo se extendió por el continente africano la increíble distancia de casi tres mil millas, hacia el Sur a lugares cerca de Natal en Africa del Sur. En la década siguiente la roya pasó de Sumatra y Java a las islas vecinas; de Etiopía pasó a Uganda y Madagascar, pero no a través del Atlántico.

Sintiéndose seguros por no tener la roya, los caficultores americanos expandieron la industria. Se trataba de un cultivo estable, cuyo producto puede almacenarse y por lo tanto soportar fluctuaciones del mercado; podría exportarse a lugares distantes sin que se deteriorara y por lo tanto sin perder su precio. Todo esto constituían ventajas económicas para los trópicos americanos. Además los costos de producción eran cada vez mayores en el Oriente y en Africa debido a la roya.

A principios de este siglo, en 1903, fueron enviadas a Puerto Rico unas 100 plantas experimentales de café, algunas de ellas accidentalmente infectadas con roya. Afortunadamente antes de plantarlas en el campo se detectó la enfermedad en algunas de ellas y se destruyeron todas las plantas. La roya no se estableció en América en esta oportunidad y de momento, se salvaron los trópicos americanos. La experiencia sirvió para hacer más estricta la cuarentena en el Nuevo Mundo, contra el tráfico de plantas vivas de café procedentes del Hemisferio Oriental.

### *Expansión posterior de la roya*

Ya para 1910 a 1913 la roya no sólo era una nueva enfermedad del Sur y Oriente de Africa, sino también de Caledonia, Kenya y las Nuevas Hébridias. Cinco años más tarde, se encontraba en Rodesia y en la parte oriental del Congo, de donde rápidamente pasó a ser un problema en el centro y parte occidental. Hay algunos informes un tanto discutibles que indican que ya por este tiempo la roya estaba también presente en Angola.

En las islas al oeste de la costa africana, casi sobre el ecuador geográfico, se cultivaba buen café. La mayor de estas islas, cerca del río Niger, es Sao Tomé, en donde se encontró la roya en 1938. Esta isla decora la indentación de las costas occidentales africanas.

Como era de esperarse, en 1951-1954, el aire de los territorios al oeste y sur de la esquina donde está Sao Tomé, debe haber estado cargado de esporas de roya. Así fue como 10 años más tarde la roya se presentó en el Camerún, Dhomey, Togo la Costa de Marfil y el Sudán Francés. Del otro lado del continente la roya aumentaba en Kenya, Uganda y el norte de Rodesia; por primera vez aumentó en Mozambique e invadió Zanzibar. También hubo informes un tanto sorprendidos desde China subtropical y la isla de Hinan, en donde la roya atacó plantaciones experimentales. Un poco más tarde la roya se presentaba en las islas Andaman, cerca de Siam.

Al mismo tiempo, en la costa occidental de Africa la roya apareció en Liberia y de allí pasó a la isla de Fernando Poo, que se encuentra al norte de Sao Tomé. En 1955 se extendió al noroeste, a la isla Príncipe, situada en la Bahía de Guinea, en dirección a la costa de Brasil.

De aquí en adelante la roya se extendió rápidamente al punto que en 1966 ya estaba bien establecida en casi toda Africa occidental, incluyendo Angola, Nigeria, Sierra Leona y Guinea. Ha continuado incrementándose y ahora está en

los extremos occidentales del continente, en la protuberancia que apunta hacia las costas orientales de Brasil, en América del Sur.

### *Expansión reciente al trópico americano*

Durante todo ese tiempo en que se extendía la roya, los caficultores americanos se sintieron muy afortunados por no tener la enfermedad en sus plantaciones. A pesar de que la distancia entre el continente africano y América es relativamente corta, existió cierta confianza entre los caficultores americanos, respecto a que la enfermedad no les llegaría, ésto, basados en un siglo de mantenerse libres de la roya.

Por lo tanto fue muy explicable la sorpresa que causó el hallazgo de la roya del café en enero de 1970, por el fitopatólogo Madeiros en el Estado de Bahía. Pronto, también fue descubierta en los estados de Espírito Santo y Minas Gerais. Al principio los informes de plantas afectadas fueron un tanto dispersos, pero meses más tarde al hacer reconocimientos, se encontró la enfermedad en forma severa en muchos lugares. Inicialmente se tuvo la esperanza de que las partes más secas y frías del sur de Brasil no serían afectadas. Sin embargo, y a pesar de los cordones o franjas de cuarentena que fueron establecidos, éstas fueron cruzadas una a una por la roya y en 1971 la enfermedad invadió los estados de Sao Paulo y Paraná con sus muy importantes e intensivas plantaciones de café. Se espera que aún se extienda más. En 1972, la enfermedad ya llegó a Paraguay y otros países americanos observan con ansiedad.

*Fechas que indican dónde se observó la roya del café*  
(*H. vastatrix*):

- 1861 Victoria, Nyanza, Africa.
- 1867-68 Ceylán, (1869 la roya fue descrita y el patógeno nombrado)
- 1869-72 Mysore y el sur de India.
- 1876-78 Sumatra, Java y Natal en Africa.
- 1882-83 Mauritius, Reunión, Filipinas, Tanganyika.
- 1886-88 Malaya, Borneo, Tonkin, Madagascar.
- 1889-94 Samoa, Uganda, Papua.
- 1903 Puerto Rico, interceptada en plantas importadas.
- 1904-06 Africa del Sur y del Este.
- 1910-13 Nuevas Hébridias, Caledonia, Kenya.
- 1916-18 Rodesia y parte oriental del Congo.
- 1920-30 Congo Oeste y Angola (?)
- 1938- Sao Tomé.
- 1940-47 Mozambique, Zanzibar, sur de China, Hainan.
- 1951-54 Camerun, Dahomey, Togo, Costa de Marfil, Sudán Francés, Fernando Poo.
- 1955-58 Príncipe, Liberia, Sudamans.
- 1962-66 Guinea, Nigeria, Angola, Sierra Leona.
- 1970 Bahía, Espirito Santo, Minas Gerais en Brasil.
- 1971 Paraná, Sao Paulo en Brasil.
- 1972 Paraguay.

LITERATURA SELECCIONADA

1. AMARAL, M. & C. DERUIZ BEDUIN. 1970. A ferrugem alaranjada do cafeeiro, historico e distribuicao geografica. Min. Agr., Brasil (special publ.) 11 p.
2. ANON. 1970. Ferrugem do cafeeiro. Inst. Bras. Cafe-Inst. Biolog. Estad. Sao Paulo, Folha Colorida 11, 2 p.
3. BITANCOURT, A. A. 1970. A ferrugem do cafeeiro. Biologico 36:31-34.
4. BOWDEN, J., P. H. GREGORY, & C. G. JOHNSON. 1971. Possible wind transport of coffee leaf rust across the Atlantic Ocean. Nature 229:500-501.
5. CHAVES, G. M., J. DA CRUZ FILHO, M. G. DE CARVALHO, K. MATSUOKA, D. TEIXEIRO COELHO, & C. SHIMOYA. 1970. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.); revisao de literatura com observacoes e comentários sobre a enfermidade no Brasil. Seiva 30: (Edicion Especial) 75 p.
6. INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFE. 1970. Ferrugem do cafeeiro caracteristicas da doenca e providencias para seu controle. Min. Ind. Comer., Inst. Bras. Café (Gerca). Rio de Janeiro Brazil (Special publ.) 31 p., 1 map.
7. MEDEIROS, A. G., 26 JAN. 1970. (Report, one page, to President of National Confederation of Agriculture, of coffee diseased with *Hemileia vastatrix* in Bahia, Brazil). From Com. Exec. do Plano de Recup. Econ.— Rural da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), Rio de Janeiro.
8. D'OLIVEIRA, B. 1954-1955. As ferrugens do cafeeiro. Rev. Café Português 1:5-13; 2:5-12; 6:5-15; 7:9-17; 8:5-18.
9. D'OLIVEIRA, B. & C. J. RODRIGUES, JR. 1960. I. A Survey of the problem of coffee rusts. II. Screening for resistance to *Hemileia vastatrix* on *Coffea arabica*. Junta Inv. Ultramar, Centro Inv. Ferrugens Cafeeiro, Estac. Agron. Nac., Oeiras (Special publ.) 114 p.
10. D'OLIVEIRA, B. 1971. Centro de investigacao das ferrugens do cafeeiro. Junta Inv. Ultramar, Estac. Agron. Nac., Oeiras (Special publ.) 29 p.
11. STEVENSON, J. A. & R. BEAM. 1955. An annotated bibliography of coffee rust (*Hemileia* spp.). U. S. Dep. Agr., Div. Dis. Survey. Washington, D. C. (Special publ. 3) 80 p.
12. TIME (weekly magazine). 1970. Coffee nerves in Brazil. Time 96(10):47.
13. VEJA E LEIA (weekly magazine). 1970. Café, guerra a ferrugem. Veja e Leia (No.) 85; 38-39.
14. WELLMAN, F. L. 1961. The rust diseases (pp. 253-260, attention on 26 other pages). In Wellman. Coffee botany, Cultivation, and Utilization. Leonard Hill Ltd., London and Interscience Publ., New York. 488 p.
15. WELLMAN, F. L. 1970. The rust *Hemileia vastatrix* now firmly established on coffee in Brazil. Plant Dis. Reprtr. 54:539-541.
16. WELLMAN, F. L. 1972. Coffee (pp. 150-152). In McGraw Hill Yearbook Sci. and Tech. 1972, 450 p.

# OBSERVACIONES COMPARATIVAS DE LA ROYA DEL CAFE EN LOS HEMISFERIOS ORIENTAL Y OCCIDENTAL

Eugenio Schieber  
P.O. Box 226  
Antigua, Guatemala, C. A.

## Summary

Of coffee rusts *Hemileia vastatrix* is most widespread. It has about 25 races of which two are in the western hemisphere. Numerous mycological and ecological studies show this rust can develop in all main coffee growing areas in Brazil; and as well in any other coffee growing area in any other part of the American tropics. Researches in both hemispheres clearly indicate wind currents could have brought spores to Brazil from Africa in from 5 or 7 to 15 days. Spores have been trapped in Brazil in several airplane flights at from 50 m., and between, to 1000 m. in altitude. Spores have also been trapped in the air at 150 km. distance from a diseased area. In Africa important spore dispersal was proved to be by water drops and by flying insects; it is also certain man has moved rusted seedlings for distances and increased disease spread in that manner. To understand coffee rust, statistical studies were made of data on the effects of temperatures and moisture on spore germinations. This resulted in an apparently reliable Equation. In Africa this so-called "Rayner Equation" when determined, confirms where coffee rust is severe, intermediate, and less serious. In Brazil such Equation studies in progress indicate there are areas that can be mapped out where occurrence of the rust disease will be high risk, medium risk, or low risk.

Existen dos royas que atacan al café (*Coffea arabica* L.), una es causada por *Hemileia vastatrix* Berk & Br. y la otra por *H. coffeicola* Muabl. & Roger. La primera se encuentra muy difundida y la segunda está restringida a ciertas áreas del Continente Africano.

La roya causada por *H. vastatrix* (3), motivo de este simposio, se dispersó a través del Continente Africano y se estableció en el Hemisferio Occidental; se descubrió en el Estado de Bahía, Brasil, a principios de 1970. Basado en la literatura y en varios viajes de estudio que realicé al Africa y a Brasil en años recientes (32), intentaré comparar ciertos aspectos del patógeno, la sintomatología, la diseminación de la enfermedad y aspectos ecológicos de la roya en el Hemisferio Oriental y en el Occidental.<sup>(1)</sup>

Se trata de un organismo típico de las royas de la hoja y daremos algunos aspectos del mismo para entender mejor su localización y diseminación.

### *Distribución geográfica de las razas fisiológicas*

Mayne (19) en 1932 fue el primer investigador que informó sobre la especialización biológica del *H. vastatrix*. Caracterizó cuatro razas en la India. Más tarde el grupo de trabajo del CIFC (Centro de Investigacao das Ferrugens do Cafeeiro) bajo la dirección de d'Oliveira caracterizó once razas fisiológicas más, provenientes de varios países de Africa y Asia (12, 13). En 1972 el CIFC había identificado 25 razas fisiológicas diferentes en muestras enviadas de distintas regiones del mundo. Es interesante notar que en las regiones cafetaleras de Africa las razas I, II, III, VII y XV atacan los cafés arábigas, mientras que las razas IV, V y VI se encuentran en café robusta.

La distribución de las razas más comunes aparece en la Tabla 1 y una comparación del estado actual de distribución

<sup>(1)</sup> Algunos aspectos de la diseminación y ecología han sido cubiertos en el artículo reciente de Schieber: "Economic Impact of Coffee Rust in Latin America". Ann. Rev. Phytopath. 10:491-520. 1972.

## TABLA I

Distribución de algunas razas de *H. vastatrix* en Asia, Africa y América

### ASIA

India	I, II, III, VII, VIII, XII, XVII, XXIII, XXIV
Timor Portugués	II, III, XV, XXII, XXV, XXVI
Filipinas	I, II, X, XIII
Ceylán	I, II, XV
Cambodia	II, XI

### AFRICA

Tanzania	I, II, III, VI, IX, XVII, XX
Kenya	I, II, VII, XV, XX
Isla de Sao Tome	I, II, III, XV, XVIII
Etiopía	I, II, III, XV
Uganda	I, II, IV, XIX
Rep. Central Africana	II, IV, XIX
Rep. de Malagache	I, II, XI
Congo (Kinshasa)	I, II
Angola	II, XV

### AMERICA

Brasil	II, XV
--------	--------

de las razas en Kenya y Brasil se presenta en la Tabla 2. Debe hacerse notar que la raza II de *H. vastatrix* que ahora se encuentra en el Hemisferio Occidental, es también la raza más común y prevalente en el Hemisferio Oriental. No es de sorprender por lo tanto, que el Dr. d'Oliveira identifica a la raza II en muestras provenientes de Brasil (16). Se supone que

## TABLA II

### Razas de *H. vastatrix* en Kenya y Brasil

#### Kenya (a)

Raza I	en <i>Coffea arabica</i>
Raza II	" " "
Raza VII	" " "
Raza XV	" " "
Raza IV	en <i>Coffea canephora</i>

#### Brasil (b)

Raza II	en <i>Coffea arabica</i>
Raza XV	" " "

(a) Identificadas por d'Oliveira & Rodríguez, 1960

(b) Identificadas por d'Oliveira, 1970

una de las razones por la que la raza II invadió el Hemisferio Occidental es la de que existe en gran abundancia en el Continente Africano, pero podría haber otras razones. (2)

Firman y Hanger (14) informaron que mientras que la raza II está presente en todas las áreas cafetaleras de Kenya, la raza I tiene una distribución más limitada y no se la encuentra en lugares altos. La razón por la que la raza I no se encuentra a baja altitud no ha sido investigada.

Se considera de fundamental importancia el saber si las condiciones ambientales de Brasil son favorables a la infección y al desarrollo del hongo *H. vastatrix*. Numerosos estudios ecológicos de las zonas cafetaleras de Brasil (2, 9, 16, 17, 18, 25, 30-35, 40) indican que hay un gran rango de variación ecológica en ese país.

(2) Mientras se preparaba este trabajo, se identificó la raza XV en Brasil. Es interesante notar que esta es la raza que se ha reportado en Angola, Africa.

*Aspectos micológicos.* La primera descripción de las uredosporas de *H. vastatrix* fue hecha por Berkeley (3); en muestras enviadas del oriente. Las uredosporas son unicelulares, hialinas, arrañonadas con lados lisos y aplanados, uno de los lados es curvo con equinulaciones y pueden tener de 4 a 5 poros germinativos, el tamaño varía. Nutman y Roberts (23) indicaron que el tamaño es de 25-35 x 12-28 micrones; Saccas y Charpentier (30) informan de promedios en tres especies de café: *C. canephora* Pierre (robusta) 35.7 x 21.2 micrones, en *C. excelsa* Chev. 31.5 x 22.7 micrones y en *C. arabica* 30.2 x 22.5 micrones. El color es amarillo dorado y muy transparente cuando se compara con las uredosporas de las royas de los cereales (*Puccinia*). No son tan densas, como las de *Uromyces*. Las equinulaciones parece que favorecen su diseminación y la forma aerodinámica y su baja densidad son indicios de que pueden transportarse por el aire. (Las teliosporas han sido observadas esporádicamente en Ceylán, India y Sur Africa. Se sabe de la existencia de los estados de picnidios y ecidios).

Las primeras investigaciones sobre la germinación de las uredosporas de *H. vastatrix* fueron realizadas por Marshall Ward (38, 39), quien encontró que germinan entre 12 y 24 horas y que en 48 horas ya se forman los apresorios. Los síntomas aparecen a los 14 días después de la inoculación y la esporulación principia después de 2 a 4 días de haber aparecido los síntomas.

Rayner (28) informó que se requiere agua para la germinación y que ésta ocurre entre 2.6 y 4.7 horas a 23° centígrados, con un mínimo de una hora; la formación de apresorios toma de 6.5 a 8.5 horas con un mínimo de 5.3 horas.

Saccas y Charpentier (30) informaron que las uredosporas colocadas en una gota de agua estéril e incubadas a 24° centígrados, inician su germinación después de 3 a 4 horas llegando a 10-15% de germinación y alcanzando de 60 a 85% de germinación después de 6 horas. Cada uredospora produce por lo menos un tubo germinativo, algunas veces dos y rara vez más. Después de 3 a 4 horas, los tubos germinativos pueden crecer de 20 a 140 micrones, y después de 8

horas pueden alcanzar entre 85 y 250 micrones. En algunas ocasiones se ramifican en distintas direcciones. En los ápices de los tubos germinativos y al final de las ramificaciones se forman los apresorios.

El efecto de la humedad en la germinación de las uredosporas de *H. vastatrix* también ha sido estudiado (30). A temperatura óptima, la germinación de las uredosporas es más rápida cuando están en contacto con muy pequeñas gotas de agua. La germinación puede llegar hasta 49% después de 3 horas de estar en contacto con las gotas de agua. Se encontró también que si las uredosporas se encuentran en una sola gota grande de agua, el desarrollo de los tubos germinativos es más lento en comparación a cuando se encuentran en las gotas pequeñas. Nutman y Roberts (22, 23) demostraron que la humedad por sí sola no es suficiente siendo el agua esencial, ya que no lograron germinación, aún en atmósferas saturadas, sin gotas de agua.

Un tercer factor que afecta la germinación de las uredosporas es la luz (15). Las uredosporas bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad, no germinan si se les expone a luz intensa. En realidad se inhibe la germinación. Rayner (28) encontró que la oscuridad estimula la germinación y su trabajo confirma que la germinación es inhibida por la luz. También observó Rayner (28) que la luz disminuye e inhibe el crecimiento de los tubos germinativos.

Nutman y Roberts (23) observaron que la germinación puede llevarse a cabo en el campo durante el día con la luz que normalmente existe en las superficies inferiores de las hojas. En otra investigación estos mismos autores (22) encontraron que bajo condiciones controladas de laboratorio, se llevó a cabo la germinación bajo luz difusa.

Saccas y Charpentier (30) concluyeron que bajo condiciones óptimas la germinación se inicia después de 3 a 4 horas (15 a 35%), alcanzando el máximo después de 6 a 8 horas (50 a 80%) a 24° centígrados. En cierto momento (15 a 35%) forman apresorios que envían hifas que penetran en los estomas iniciando así la infección. Las primeras células infectadas se observan después de 6 a 8 horas (10 a

15%) y el nivel máximo de infección tiene lugar después de 12 a 14 horas (de 20 a 30% de germinación). La infección se lleva a cabo a través de los estomas únicamente y nunca a través de la cutícula.

Cuando la hifa infecciosa penetra el estoma, se ramifica abundantemente dentro de la cámara subestomatal en unas 12 a 14 horas después de la inoculación. La invasión de los tejidos del parénquima esponjoso es progresiva y ocurre después de 6 a 8 días. La invasión de los tejidos de palizada es posterior y ocurre después de 8 a 12 días.

Varios investigadores han informado sobre el período de incubación de *H. vastatrix*. Por ejemplo, Marshall Ward (38) trabajando en Ceylán encontró que este es de 12 a 16 días; Mayne (19) informó desde Mysore, India, que el período de incubación es de 15 a 16 días; Rayner (28) concluyó que puede tomarse hasta 5 semanas. Nutman y Roberts, después de una investigación muy detallada (22), informaron que el tiempo entre la invasión y la esporulación fue de 21 días, esto en discos de hojas de café mantenidos en cámaras húmedas. Bock (5) en Kenya encontró que bajo condiciones de campo varía de acuerdo con la estación. El desarrollo de pústulas y la formación de uredosporas es más rápida (20 a 22 días) en hojas jóvenes que en hojas maduras (25 a 28 días); en hojas viejas las pústulas se forman entre 30 y 35 días (30).

Las esporas son sensitivas no sólo a la edad de la hoja sino también a la parte de la misma en la cual se depositan. Aparentemente (22) la germinación es casi el doble cerca de los márgenes de la hoja que cerca de la vena central.

A juzgar por los estudios que he revisado, parecería ser que la roya *H. vastatrix* podría desarrollarse en todas las áreas cafetaleras de Brasil. (3)

(3) No hay ninguna área cafetalera de la América tropical que presente una ecología que impida el desarrollo de la roya en el café.—Editor.

## Sintomatología en África y Brasil

La roya del café causada por *H. vastatrix* es una enfermedad típica del follaje. Sin embargo, en algunos casos se le ha observado atacando frutos y ramas jóvenes. En Brasil ocasionalmente se ha observado en frutos verdes.

La roya ataca hojas jóvenes y viejas y aún las primeras hojas de plantitas recién germinadas. Los primeros síntomas aparecen como pequeñas manchas cloróticas, transparentes de uno a tres milímetros de diámetro (Figura 1). Estas manchas aumentan en diámetro después de unos cuantos días y principian a mostrar en el envés las masas de uredosporas que le dan el color amarillo a anaranjado oscuro. En algunas regiones de Brasil como Bahía, el color de las pústulas que observé era bastante pálido en contraste con el que antes había visto en *Coffea arabica* en Kenya, Africa (32, 33). Aparentemente las condiciones ecológicas pueden afectar la intensidad del color.

Bajo condiciones de invernadero, diferentes razas de roya presentan el mismo color de pústulas. Sin embargo en Brasil, la raza II produce diferentes colores de pústulas. Esto podría ser el efecto de diferencias en condiciones ecológicas y tipos de manejo del cultivo. Observaciones realizadas en África y Brasil (32) mostraron que las pústulas son más anaranjadas en cafetales sin sombra que en cafetales sombreados. En África noté que las pústulas en *C. canephora* (Robusta) son de un color anaranjado intenso, casi rojo. Lo mismo sucede en Ghana y Uganda donde se cultiva extensivamente *C. canephora*.

Al tiempo que las pústulas se desarrollan, se produce una mancha clorótica y más tarde necrótica en la cara superior de las hojas. Encontré en Brasil algunos casos de roya en los que estas manchas necróticas eran similares a las causada por *Cercospora coffeicola*. Esto puede causar problemas en la identificación de la enfermedad en el campo. A veces los primeros síntomas de la roya son similares a los causados por la enfermedad "weak spot". Tanto "weak spot" como *Cercospora* se encuentran en todos los cafetales de América Latina (33, 34) y como se dijo anteriormente pueden con-



**Fig. 1. Primeros síntomas del desarrollo de las pústulas de *H. vastatrix*. Fotografiados en Brasil.**

fundirse con la roya. En la roya las áreas necróticas están rodeadas de masas de uredosporas lo que puede servir para identificarla en contraste con otras enfermedades foliares del Hemisferio Occidental (Figura 4).

Con frecuencia las primeras pústulas se producen en los márgenes y el ápice de la hoja (Figura 2). Esto es debido a que los estomas están localizados sólo en el envés de la



**Fig. 2. Pústula original en el borde y próxima al ápice de la hoja, con formación de pústulas nuevas en el envés. Fotografiada en Africa.**

hoja y la infección se lleva a cabo sólo en presencia de gotas de lluvia o rocío. Estas gotas se mantienen suspendidas por mayor tiempo en esas partes de la hoja dando mayor oportunidad para la germinación y penetración. La lluvia puede más tarde lavar las uredosporas desde las pústulas originales en los ápices y márgenes hasta otras áreas en el envés de las hojas.



**Fig. 3. Pústulas maduras de *H. vastatrix*. Fotografiada en Kenya.**

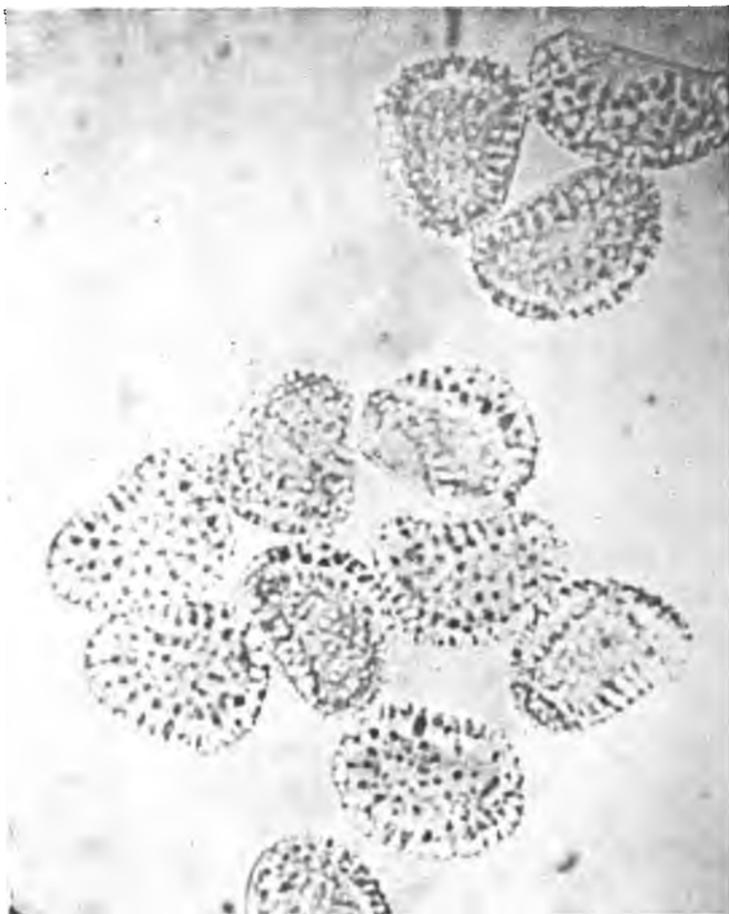
A partir de observaciones y fotografías que tomé en Kenya, he comparado los síntomas de la raza II de *H. vastatrix* en Africa con la formación de pústulas de la raza II en Bahía, Brasil. Al principio las pústulas pequeñas son similares en ambos países. Sin embargo, las pústulas maduras son realmente más grandes en diámetro y más circulares en Kenya (Figura 3). En Africa las pústulas sobrepasan las venas uniéndose con otras pústulas para producir áreas necróticas



**Fig. 4.** Necrosis severa en el haz de una hoja de café. Fotografiada en Kenya.

grandes. Estas observaciones fueron realizadas en cafetales con técnicas de manejo modernas, incluyendo el uso de fertilizantes.

Repetidas observaciones realizadas en Brasil muestran que las pústulas con frecuencia aparecen primero en las hojas a nivel del suelo, posteriormente se presenta en las hojas superiores, progresando finalmente hasta la punta del árbol. Sin embargo, en algunos casos las pústulas aparecen primero



**Fig. 5. Uredosporas de *H. vastatrix*. Cortesía del Centro de Investigaciones en Café, Oeiras, Portugal. (CIFIC).**

en tejido nuevo, lo que ocurre especialmente en plantas jóvenes o plantitas producidas bajo las plantas adultas de café.

Dependiendo de los factores ecológicos, una pústula requiere cerca de tres semanas para llegar a su tamaño máximo y se calcula que una pústula madura produce hasta 150,000 uredosporas (Figura 5).

El síntoma más dramático en Brasil es la defoliación de la planta de café. Esta defoliación es similar a la causada por

el "ojo de gallo" (*Mycena citricolor*) en cafetales severamente atacados, pero la defoliación causada por la roya es más espectacular, (32, 34, 36). Donde el ataque es severo se forma en el suelo un colchón de hojas. El efecto de la caída de las hojas causa una fuerte impresión en los caficultores. Como es típico de muchas enfermedades fungosas, la roya puede defoliar una plantación en áreas limitadas sin afectar todos los árboles de la plantación al mismo tiempo. Observaciones realizadas en Tres Portas, Minas Gerais, Brasil, sugieren que las áreas atacadas más severamente resultan serlo por efectos de topografía, microclima y la dirección de la dispersión de la roya. La orientación de los árboles, en relación con la luz solar, afecta la incidencia y severidad de la roya.

### *Diseminación de la roya*

Varios investigadores han estudiado la diseminación de la roya (6, 23, 24, 36). El haberla encontrado en Brasil, ha dado la oportunidad de trabajar en el problema con una perspectiva diferente. Las observaciones realizadas en Africa Oriental fueron más a nivel de finca, mientras que en Brasil la diseminación pudo observarse de región a región y de estado a estado.

Ya que este asunto es de gran importancia en relación con la diseminación futura a otros países cafetaleros de América Latina, revisaremos aquí la diseminación de uredosporas de *H. vastatrix*.

Wellman (40) y también Rayner (27) sugirieron que el viento puede diseminar las esporas de la roya del café. Recientemente ha habido especulaciones en el sentido de que corrientes de aire desde Africa Occidental (Angola) hacia Brasil trajeron las uredosporas que permitieron el establecimiento de la enfermedad en el Hemisferio Occidental. Investigadores del Departamento Nacional de Meteorología de Brasil (2) han informado que corrientes de aire con velocidades de 20 Km/hr. pudieron haber traído las esporas de la roya desde Africa hasta las costas de Brasil en 15 días.

Bowden y otros (6) sugirieron que los vientos del Océano Atlántico pudieron haber traído las esporas desde Angola a Bahía en 5 ó 7 días. Nutman y Robert (24) han obtenido evidencia que muestra, que para obtener infección se necesita un gran número de uredosporas juntas, y también han considerado la viabilidad de las esporas como un factor en la diseminación a largas distancias.

Después de visitar las regiones afectadas en el norte de Brasil, concluí (32) que el viento debió haber jugado un papel muy importante. En 1970 se observó que la dirección de las corrientes de aire en la región afectada era similar a la dirección en la cual la roya se estaba diseminando, especialmente en el Estado de Minas Gerais. Ese mismo año, el Departamento Nacional de Meteorología de Brasil (2) anunció que en enero las corrientes de aire estarían dirigidas hacia los Estados de Sao Paulo y Paraná (en ese momento aún libres de la roya), y que esto podría resultar en la diseminación de la roya en esos estados. Muy pronto, de hecho en enero de 1971, la roya fue encontrada en Sao Paulo habiendo seguido la dirección de los vientos de esa temporada (36).

En Brasil se hicieron pruebas con trampas para coleccionar esporas. Durante la primera parte de 1971 el Instituto Brasileiro del Café (17) informó que se coleccionaron uredosporas de *H. vastatrix* desde aviones volando a 50, 100, 250, 500 y 1000 metros de altura. Las uredosporas coleccionadas a 1000 metros de altura estaban a 150 Km. de un área afectada en Sao Paulo, (estas pruebas se realizaron con portaobjetos cubiertos de vaselina sólida y silicones).

Los investigadores brasileros han estudiado también la dispersión de la roya a través del Estado de Sao Paulo, lo que sucedió de manera desordenada durante un periodo de 10 meses. Es interesante hacer notar que el comportamiento de las esporas de *H. vastatrix* llevadas por el viento es similar (36) al de las royas de los cereales.

## *Otras formas de dispersión*

Nutman y otros (20), Bock (4), Bundekin (7) y Nutman y Roberts (21, 23) coinciden en declarar la importancia del agua como uno de los principales agentes de dispersión de las esporas. Rayner (29) estudió la manera como se mojan las caras inferiores de las hojas durante un aguacero en el campo. Encontró que ciertas partes se mojan por la acción directa de las gotas al caer sobre la superficie inferior cuando las hojas se mueven debido a la turbulencia del viento. Sin embargo, la mayor parte del mojado resulta del rebote de gotas que caen en la superficie superior de las hojas que están debajo. Estas gotas al rebotar podrían llevar consigo uredosporas que han sido depositadas en las hojas inferiores.

Yo he visto y fotografiado (Figura 2) casos en los cuales gotas de lluvia han caído sobre lesiones con esporas y han arrastrado consigo esporas a áreas sanas de la misma hoja.

Butler (8) indica "parece razonable suponer que la roya, que se originó en Africa, se ha diseminado, al igual que otras muchas enfermedades, teniendo al hombre como vehículo al transportar plantas vivas u otros materiales contaminados de un distrito a otro". Él hizo esta aseveración en relación con la introducción de la roya del café en Asia como resultado del posible movimiento de plantas entre una isla y otra a través del Océano Indico.

Creo que es posible que la roya del café haya llegado de Africa al Hemisferio Occidental en plantas vivas. Además supongo que las esporas pudieron haber venido sobre plantas de café o cacao aparentemente sanas. Asimismo es posible que el movimiento interno de plantas entre una región y otra en el norte de Brasil haya facilitado el movimiento del patógeno en el área cafetalera. Varios autores (8, 9, 23, 32) han sugerido la diseminación de la roya por el hombre. Causa especial preocupación que en la era del jet los visitantes que entran y salen sean portadores de esporas sin saberlo. Esto puede suceder en la ropa, el equipaje, las cámaras fotográficas y otras cosas, ya que como se sabe, las uredosporas pueden sobrevivir varias semanas.

Crowe (10) en Africa Oriental, fue el primero que informó del movimiento de uredosporas de *H. vastatrix* por medio de insectos. Encontró como vectores dos especies de Hymenoptera. Nutman y Roberts (24) han sugerido que una forma posible, en la que las esporas pudieran ser diseminadas, sería si éstas fueran llevadas por un insecto como *Synopeas* y a su vez el insecto acarreado por una corriente de aire a través del Atlántico sobre plantaciones en Brasil, lo cual es teóricamente factible. Amante y otros (1) encontraron en Brasil uredosporas de *H. vastatrix* adheridas al cuerpo de *Drosophila* sp.; este insecto es muy abundante cuando los frutos del café están maduros. También indicaron como un posible vector al minador de la hoja del café (*Leucoptera coffeella*).

### *Ecología y la roya*

En Africa Oriental, varios investigadores (4, 5, 11, 22, 23, 27, 28) han trabajado en la relación que existe entre las condiciones ecológicas en el campo y el desarrollo de la roya. En Kenya se observó que la severidad de la roya disminuye al aumentar la altitud sobre el nivel del mar. Se determinó que a alturas de 1820 metros sobre el nivel del mar la roya no tenía importancia económica. Parecía haber una relación muy estrecha entre la temperatura y el desarrollo de la enfermedad; la distribución e intensidad de la lluvia y la cantidad de inóculo en el follaje.

La intensidad de la roya, determinada por el grado de defoliación, fue comparada entre las regiones cafetaleras localizadas al oeste y al este del "Rift Valley" en Kenya. Las condiciones ecológicas son muy diferentes en estas dos regiones. Al oeste la prolongada estación lluviosa y las altas temperaturas, favorecen el desarrollo y la severidad de la enfermedad. Demostrando la gran importancia que tiene la frecuencia e intensidad de las lluvias y la temperatura, que son afectadas por la altura de las regiones.

Rayner (26) en sus investigaciones sobre el efecto de la temperatura en el período de incubación del *H. vastatrix* desarrolló una ecuación de regresión en la que relaciona la

temperatura máxima promedio °F ( $X_1$ ), la temperatura mínima promedio °F ( $X_2$ ), con el periodo estimado de incubación en días ( $Y$ ) (y el estimado de 50% de esporulación en las lesiones de roya). La ecuación de Rayner es la siguiente:  $Y = 90.61 - 0.408X_1 - 0.440X_2$ .

Usando la ecuación de Rayner, Wallis (37) sugirió tres grupos de áreas para Brasil: muy peligrosa, medianamente peligrosa y de bajo peligro en relación con el ataque de la roya de café.

En Brasil el Departamento Nacional de Meteorología (2) ha comparado algunas regiones cafetaleras brasileras con regiones en Africa Oriental. Las comparaciones se han hecho entre Kitale y Kiambu en Kenya y Londrina en Paraná, Brasil. Las dos regiones tienen relativamente bajas temperaturas. Matiello (18) y Ortolani y otros (25) usaron la ecuación de Rayner para tratar de determinar las áreas más apropiadas para el cultivo de café y que no favorecen al desarrollo de la enfermedad.

Ortolani, Camargo y Abreu (25) informaron que todas las regiones cafetaleras de Brasil tienen condiciones favorables al ataque de la roya en mayor o menor intensidad, de acuerdo con la temperatura del aire. Si la temperatura no es un factor limitante en algunas áreas, la intensidad del daño en los cafetos dependerá alternativamente de la distribución e intensidad de las lluvias, el inóculo residual, y finalmente el microclima del área cafetalera. Además, agregaron que las áreas más apropiadas para sembrar variedades susceptibles en el Estado de Sao Paulo tienen alturas sobre 870, 820, 780 y 730 metros sobre el nivel del mar para cada grado de latitud desde 20° 30' hasta 23° 30', respectivamente. Si se parte de una alta probabilidad de incidencia de la enfermedad, las alturas entonces corresponden a 820, 750, 650 y 600 metros aproximadamente.

En el Estado de Paraná, la roya puede causar daños serios a alturas inferiores de 700 metros. La temperatura observada en estas áreas durante el periodo de octubre a marzo es muy favorable para un ciclo rápido de la enfermedad.

Debe hacerse énfasis que yo informé (32) que las condiciones ecológicas de las regiones cafetaleras de Kenya Cen-

tral (donde hay roya) son similares a las condiciones de las regiones cafetaleras de Centro América (donde por el momento aún no hay roya).

Debe estudiarse en el futuro la influencia que tiene la sombra sobre el establecimiento, desarrollo y severidad de la roya. Todos los países cafetaleros de América Latina que aún están libres de la roya, es decir, desde Colombia en Sur América hasta Veracruz en México producen el café bajo sombra.

#### LITERATURA CITADA

1. AMANTE, E., M. A. VULCANO & J. ABRAHAO. 1971. Observacoes preliminares sobre a influencia da entomofauna na dispersao dos uredosporos da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*). O Biologico, Vol. 37: 102-105.
2. ANON. 1970. Influência dos fatores meteorológicos na ocorrência da *Hemileia vastatrix*. Departamento Nacional de Meteorologia, Brazil.
3. BERKELEY, M. J. 1869. (Note without title). Gardner's Chronicle. 45:1157.
4. BOCK, K. R. 1962. Dispersal of uredosporos of *Hemileia vastatrix* under field conditions. British Mycological Society Transactions 45(1):63-74.
5. BOCK, K. R. 1962. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. British Mycological Society Transactions 45(3):289-300.
6. BOWDEN, J., P. H. GREGORY & C. G. JOHNSON. 1971. Possible wind transport of coffee leaf rust across the Atlantic Ocean. Nature-London. 229 (5285):500-501.
7. BURDEKIN, D. A. 1960. Wind and water dispersal of coffee leaf rust in Tanganyika. Kenya Coffee 25:212-213, 219.
8. BUTLER, E. J. 1918. Fungi and disease in plants. Thacker, Spink, and Co. Calcutta.
9. CHAVEZ, G. M., et al 1970. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*, Berk. & Br.) Revisao de Literatura com observacoes e comentarios sobre e enfermidade no Brazil. SEIVA, Universidade Federal de Vicosa-Minas Gerais, Brazil. 75 p.
10. CROWE, T. J. 1963. Possible insect vectors of the uredosporos of *Hemileia vastatrix* in Kenya. British Mycological Society Transactions 46(1): 24-26.
11. DOWSON, W. J. 1921. Some problems of Economic Biology in East Africa (Kenya Colony). Ann. Appl. Biol. 8:83-100.
12. D'OLIVEIRA, B. & C. J. RODRIGUEZ. 1960. A survey of the problem of coffee rust. II. Screening for resistance to *Hemileia vastatrix* on *Coffea arabica*. Lisboa Junta de Exportacao do Cafe. p. 46.

14. FIRMAN, I. D. & B. F. HANGER. 1963. Resistance to coffee leaf rust in Kenya. *Coffee (Costa Rica)* 5:49-54.
15. HOCKING, D. 1968. Effects of light on germination and infection of coffee rust (*Hemileia vastatrix*). *British Mycological Society Transactions* 51(1):89-93.
16. Instituto Brasileiro do Café. 1970. A ferrugem do cafeeiro no Brasil. Ministério da Indústria e Comércio. IBC-GERCA. pp. 75. Map.
17. Instituto Brasileiro do Café. 1971. Vento carrega ferrugem. Informativo IBC-GERCA. Año I No. 4-Abril. p. 7.
18. MATIELLO, B. J. 1970. Estudios preliminares de zonificación del cultivo de cafeto en el Brasil, en función de *Hemileia vastatrix*. Mesa Redonda sobre Roya del Cafeto. VII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia. Bogotá, Colombia (Proceedings).
19. MAYNE, W. W. 1932. Physiological specialization of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Nature* 129 (3257):510.
20. NUTMAN, R. J., ROBERTS, F. M. & K. R. BOCK. 1960. Method of uredospore dispersal of the coffee leaf rust fungus, *Hemileia vastatrix*. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 43(3):509-515.
21. NUTMAN, F. J. & F. M. ROBERTS. 1962. Dispersal of coffee rust *Hemileia vastatrix* B. et Br. *Nature* 194:1296.
22. NUTMAN, F. J. & F. M. ROBERTS. 1953. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *British Mycological Society Transactions* 46(1): 27-48.
23. NUTMAN, F. J. & F. M. ROBERTS. 1970. Coffee Leaf Rust. *PANS.* 16(4): 607-624.
24. NUTMAN, F. J. & F. M. ROBERTS. 1971. Spread of coffee leaf rust. 17(3):385-386.
25. ORTOLANI, A. A., CAMARGO VIANNA, A. C. & R. G. ABREU. 1971. *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Estudos e observacoes em regioes da Africa e sugestoes a cafeicultura do Brasil. Instituto Brasileiro do Café Secretaria da Agricultura do Estado do Sao Paulo. 228 p. 25 fig.
26. RAYNER, R. W. 1960. Rust disease of coffee. II spread of the disease. *World Crops* 12(6):222-224.
28. RAYNER, R. W. 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.) *Annals of Applied Biology* 49(3):497-505.
29. RAYNER, R. W. 1961. Spore liberation and dispersal of coffee rust *Hemileia vastatrix* B. et Br. *Nature* 191 (4789):725.
30. SACCAS, A. M. & J. CHARPENTIER. 1971. La Rouille des Caféiers due á *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. French Institute of Coffee and Cacao, Bull 10.
31. SEBASTIAO, J. M. J. 1970. El problema de la roya del cafeto en el Brasil. Enfoque del Instituto Brasileiro del Café. Mesa Redonda sobre Roya del Cafeto. VII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia. Bogotá, Colombia. (Proceedings in press).

32. SCHIEBER, E. 1970. Viaje al Brasil y el Africa para estudiar y observar el problema de la herrumbre del café. Abril-mayo. Report to OIRSA. 109 pp. 1 Map.
33. SCHIEBER, E. 1971. Comparative observations on coffee rust in Brazil and Kenya. *Plant Disease Reporter* (55):209-212.
34. SCHIEBER, E. 1971. Observaciones sobre la roya del cafeto provocada por *Hemileia vastatrix*, en Brasil y Kenia. OIRSA. p. 42.
35. SCHIEBER, E. 1971. Informe al Secretario General de GERCA-IBC sobre visita al Brasil donde se observaron algunos problemas fitopatológicos de café. Set-Oct.
36. SCHIEBER, E. 1972. Economic impact of Coffee Rust in Latin America. *Annual Review of Phytopathology* 10:491-510.
37. WALLIS, J. A. N. 1970. Coffee leaf rust in South America. A report to The International Coffee Organization. 49 p. Map.
38. WARD, H. M. 1882. Researches on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the "coffee-leaf disease". *Linnean Society Journal (Botany)* 19:229-335.
39. WARD, H. M. 1882. On the morphology of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. (The fungus of the coffee disease of Ceylon). *Quarterly Journal of Microscopical Science* (n. s.) 22:1-11.
40. WELLMAN, F. L. 1957. *Hemileia vastatrix*. Investigaciones presentes y pasadas en la herrumbre del café y su importancia en la América Tropical. Published by FEDECAME. San Salvador.

## CONTROL QUIMICO DE LA ROYA DEL CAFE EN BRASIL

Geraldo M. Chávez  
Profesor Titular de Fitopatología  
Departamento de Microbiología  
Universidad Federal de Vicosa, 36750  
Vicosa, Minas Gerais, Brasil

### *Summary*

The first field tests performed in Brazil to evaluate fungicides for coffee rust control and to establish timing, dosage and frequency of spraying were started in Minas Gerais State by the Universidade Federal de Vicosa in 1970. Coffee rust was effectively controlled by appropriate applications of copper based fungicides. However, some organic fungicides also showed promising results. Copper based fungicides with 50% metallic copper employed at the rates of 2.0, 4.0 and 6.0 Kg/ha, applied at 4-weekly intervals from the beginning of the rainy season, in September, to March or April, were tested in three districts of Minas Gerais. Even at the rate of 2.0 Kg/ha at 4-weekly intervals the percentage of infected leaves was kept below 5%. In other field trials, starting the 4-weekly interval spray programs in September, or even later, with copper fungicides, resulted in high levels of disease control when the applications were carried until the end of February or later. Some systemic fungicides although having good performances under greenhouse conditions gave poor control in field trials. Low volume spraying with copper formulations are giving promising results.

Es bien sabido que la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) se controla en los trópicos orientales con aspersiones de fungicidas. Varios compuestos químicos fueron sugeridos contra la roya del café después de su descubrimiento en Ceylán. Berkeley (2) en 1869 recomendó el uso de azufre en polvo o una solución de azufre. Además se probaron muchos de los viejos remedios, pero sin éxito. De hecho, el uso de los fungicidas contra las enfermedades fungosas en los trópicos parece haberse iniciado con los buenos resultados obtenidos en relación con la roya del café en Ceylán y Java. El uso del caldo bourdelés para su control se recomendó por primera vez en 1895 por Sadebeck (25), quien demostró su efecto deletereo sobre las uredosporas de *H. vastatrix*, bajo condiciones de laboratorio. Desde principios de este siglo, prácticamente todos los experimentos que se llevaron a cabo en varias partes de Asia y Africa, mostraron que los fungicidas a base de cobre y particularmente el caldo bourdelés, ofrecieron buena protección contra la roya del café. Esto nos hizo sentir optimistas en Brasil cuando iniciamos nuestros estudios de control contra la roya, al enfrentarnos al problema en 1970.

Algunos de los estudios de aspersión hechos en la India y en Africa son de importancia en relación con la línea básica de razonamiento que seguimos en nuestros estudios de aspersión contra la roya en Brasil.

### *Control Químico en India y Africa*

De acuerdo con Narasimhaswamy (17) las aplicaciones exitosas de caldo bourdelés en gran escala, para el control de la roya del café se iniciaron en la India entre 1917 y 1920. Anteriormente Mayne (13), al estudiar la periodicidad estacional de la roya en el sur de la India, encontró que la máxima incidencia de la enfermedad ocurrió después del final del "monsoon" o estación lluviosa. Al referirse a las épocas de aplicación indicó que para la mayoría de lugares en el sur de la India eran necesarias dos aspersiones para controlar la enfermedad: una antes de las lluvias y otra al término de éstas, aunque, bajo ciertas circuns-

tancias, con sólo la primera aplicación se obtenían resultados satisfactorios. Mayne, Narasihman y Sreenivasan (16) obtuvieron mejores resultados cuando agregaron caseinato de calcio al caldo bourdelés que cuando usaron caldo borgoñés solo.

En 1936 Mayne (14) informó que no encontró diferencia en la eficacia del control al usar caldo bourdelés o caldo borgoñés, ambos con adherentes, y que la aspersión previa a las lluvias era más importante que la efectuada después de éstas. Al estudiar en más detalle los factores que afectan la severidad de la enfermedad se encontró (15) que la duración del período de sequía, la distribución de las lluvias y la duración de las altas temperaturas son factores muy importantes. El beneficio derivado de la segunda aspersión fue mayor cuando la enfermedad no estaba muy avanzada y después que había terminado la estación lluviosa.

Ananth (1) estudió recientemente en la India los efectos de la época y frecuencia de las aspersiones con caldo bourdelés al 0.5%. Usó las siguientes aplicaciones: (a) tres aspersiones con intervalos de 21 días antes del principio de las lluvias; (b) cuatro aspersiones con intervalos de 14 días antes del principio de las lluvias; y (c) dos aspersiones espaciadas 14 días durante la época de lluvias y en combinación con los tratamientos (a) y (b). Las tres y cuatro aplicaciones al principio de la temporada, unidas a las dos aplicaciones en medio de la estación, dieron un control razonable al evaluarlo por el número de manchas en las hojas, pero, una alta proporción de las hojas afectadas por la roya se mantuvieron en los árboles. La práctica general de control en la India consiste en dos aplicaciones de caldo bourdelés, una antes y otra después de las lluvias, como profilaxis contra la roya del café. Sin embargo algunos agricultores progresistas hacen más aplicaciones dependiendo de las necesidades de la región.

Según Narasimhaswamy (17), más del 75% de las plantaciones del sur de la India reciben aspersiones de fungicidas. Aunque los fungicidas proveen una protección adecuada, la eliminación completa de la enfermedad no se logra ni con 4 ó 5 aspersiones por año. Promedios de nueve años

de pruebas en la India muestran que parcelas asperjadas producen casi el doble que las no tratadas y que el costo de aspersión es de cerca del 10% del total del costo de producción del café.

Saccas y Charpentier (24) trabajando en la República Central Africana, llevaron a cabo experimentos por 10 años para evaluar la eficacia de cuatro fungicidas cuprosos y dos orgánicos para el control de la roya. Los experimentos fueron iniciados en 1958, con los productos siguientes: caldo bourdelés al 1%; Perenox al 1% (cuprous oxide con 50% de Cu); Oxychlor 50 al 1% (tetracupric oxychloride con 50% de Cu); Viricuire al 1% (copper oxychloride con 50% de Cu); Dithane Z-78 al 0.3% (zineb 65%); y Esso 406 al 0.2% (Captan 50%). Todos los fungicidas a base de cobre fueron aplicados a razón de 3.5 Kg. de cobre metálico por hectárea. Los productos se aplicaron cuatro veces al año a intervalos de dos meses. Los resultados mostraron que en promedio los fungicidas a base de cobre fueron superiores a los orgánicos. El caldo bourdelés fue un poco mejor que los otros fungicidas a base de cobre y la eficacia de los tratamientos podía aumentarse incrementando el número de aplicaciones.

El control químico de la roya del café también ha sido estudiado en Kenya. Rayner (23) y Bock (3, 4) encontraron que la periodicidad de la enfermedad varía en distintas partes de Kenya: en áreas al este del "Rift Valley", donde hay dos períodos de lluvias al año, se observan dos períodos críticos, mientras que en áreas al oeste de ese valle, donde la estación lluviosa es más continua, la epidemia normalmente se extiende sin períodos críticos, de una manera progresiva desde el principio hasta el final de las lluvias.

Aparentemente los principales factores que afectan el curso y la severidad de los brotes de la enfermedad son: distribución e intensidad de las lluvias; cantidad de inóculo presente antes de iniciarse las lluvias y cantidad de follaje de las plantas. La oportunidad de las aspersiones parece ser crítica, obteniéndose el máximo de control cuando las aspersiones se hacen al principio y durante las primeras semanas de la estación lluviosa.

En una serie de pruebas comparativas de fungicidas, Bock (3) encontró que entre 25 formulaciones, aquellas que contenían cobre fueron las más eficaces. Rayner (22) usando tres tipos de equipos de aspersión, estudió las variables más importantes en la aplicación de fungicidas: efectos de concentración, volumen por acre, superficie foliar asperjada, tiempo de aplicación, tipos de fungicidas y clase de equipo usado. Encontró que el control de la enfermedad aumentó con el aumento de la concentración logarítmica de la aspersión. Indicó, además, que el óptimo para propósitos comerciales, debe ser determinado por los aspectos económicos y los efectos fitotóxicos. Encontró también que el grado de control aumentó con el volumen de aspersión aplicada por área; sin embargo, el ajuste del residuo fungicida por medio de la concentración resultó más efectivo y con menor desperdicio que por medio del volumen aplicado. Las aspersiones sobre el haz de la hoja resultaron igualmente eficaces que las realizadas sobre el envés. Rayner (22) observó que la redistribución del fungicida desde las superficies superiores de las hojas se efectúa por las lluvias y que la presencia de agregados gruesos de residuos eran muy importantes para el control.

Wallis y Firman (26) trabajando en Kenya estudiaron la aplicación de fungicidas a bajo volumen. Estos investigadores obtuvieron resultados satisfactorios usando bombas de mochila motorizadas y aplicando fungicidas con un contenido de 50% de cobre metálico, a razón de 50 ml. de solución con 2 a 4 gramos por árbol. También se obtuvo buen control cuando se usó una bomba accionada por tractor y ayudada por aire, que aplicaba aproximadamente 110 litros por hectárea y 6 Kg. de fungicida por hectárea. Para propósitos prácticos sugirieron la aplicación de 6 Kg. de un fungicida a base de cobre con 50% de cobre metálico en 110 litros por hectárea, cuando se usa bomba mochila motorizada y en 200 litros por hectárea cuando se usa equipo montado en tractor. Sus resultados indican que en promedio, un depósito de 60 mg de cobre por metro cuadrado de superficie foliar ofrece un control efectivo de la enfermedad y no fitotóxico.

A pesar de esto, las recomendaciones que se efectúan, aún ahora en Kenya para el control de la roya, siguen apoyando el uso de alto volumen con aplicaciones de fungicidas conteniendo 50% de Cu metálico, cuatro o seis veces al año y aplicando 100 litros por hectárea. En las áreas al este del "Rift Valley" se recomienda una aplicación a principios de octubre y otra 21 días después. La tercera aplicación, dependiendo de las condiciones climáticas locales, se debe hacer en enero o febrero durante el período previo a la estación húmeda principal, que puede principiar a fines de marzo. En algunos lugares se recomiendan las aspersiones en enero, febrero y marzo y en otros en febrero y marzo con tres o cuatro semanas de intervalo. En áreas al oeste del "Rift Valley" las aplicaciones se hacen en agosto, septiembre, octubre, noviembre, febrero y marzo, generalmente a intervalos de 21 días.

Es bien sabido que aún antes de que la roya se convirtiera en la principal enfermedad del café en Kenya, se hacían en ese país aspersiones con fungicidas a base de cobre al final de la estación lluviosa principal, lo que repercutía en mayores cosechas en los años siguientes, debido a una postergación de la caída "normal" de las hojas. Ese efecto de las aspersiones se llamó "tónico" o "contra caída de hojas", pero aún se estudia la naturaleza del fenómeno. Firman y Wallis (9) estudiaron la relación entre la concentración de la aspersión y el depósito de fungicida y llevaron a cabo investigaciones por dos años sobre las relaciones entre la concentración de la aspersión, la roya, la caída de hojas y la productividad. El tratamiento más económico en términos de producción fue el de seis aplicaciones por año cuidadosamente espaciadas conteniendo 1.5 Kg (de Cu al 50%) de fungicida por hectárea. Este tratamiento dió un control deficiente de la enfermedad y muy poca reducción de la caída de hojas en comparación con un tratamiento similar pero con aspersiones de 5.5 Kg/Ha., sin embargo la productividad fue mayor. Los árboles así asperjados mostraron mayor crecimiento y un mayor número de nudos florales. El número de flores por nudo no varió, pero sí el número de nudos, lo que presumiblemente es influenciado

por el aumento en el número de hojas producidas y mantenidas en el árbol.

Investigadores (5, 6, 11, 12, 19, 20) trabajando en el Congo y en Tanzania confirmaron la eficacia de los fungicidas a base de cobre en el control de la roya del café. Burdekin (5, 6) sin embargo demostró que fungicidas que no contienen cobre como captan, zineb y ziram dieron tan buen control como los fungicidas a base de cobre. También hizo notar que zineb y ziram redujeron la caída de las hojas menos que el cobre, y tuvieron un menor efecto en el aumento de la producción. Según Griffith's (10) los fungicidas captafol y benomyl no son más eficientes que los fungicidas a base de cobre para el control de la roya.

Pereira (21) llevó a cabo dos estudios en 1970, en Kenya, haciendo aspersiones desde el aire a razón de 96.3 litros por hectárea. La severidad de la infección de la roya fue medida separadamente en la mitad inferior y superior del follaje de los árboles. La disminución del porcentaje de infección y en el número de lesiones por hoja fue significativamente menor en las plantas tratadas que en las no tratadas. Parecería que la aspersión a la parte superior del árbol se redistribuye a todo el árbol por medio de las lluvias. A pesar de que el hongo penetra a través de los estomas y que éstos se encuentran en el envés de la hoja, donde prácticamente no se deposita nada del fungicida, el control es bueno, lo que prueba la tesis de Rayner (22), de que las aspersiones desde el aire pueden controlar la roya del café debido a la redistribución del fungicida. Según Pereira (21), miles de hectáreas podrían protegerse adecuadamente mediante la implantación de la aspersión aérea comercial y la aspersión múltiple de surcos con equipo mecanizado.

Resultados obtenidos en Africa dan evidencia del valor práctico de esas aspersiones. En 1962 había en Kenya 18,750 hectáreas de plantaciones afectadas por la roya. Según Nutman y Roberts (18) el aumento en producción de parcelas tratadas es de 600 Kg/Ha. de café de exportación. Tomando un mínimo de aumento de 240 Kg/Ha., se estimó que las aspersiones en las plantaciones de Kenya representaron un aumento de 4,500 toneladas de café de exportación por año.

Para lograr esto se necesitarían tres aspersiones por año en la parte este del "Rift Valley" y cinco aplicaciones en el oeste, cuyo valor promedio sería de US\$8.65 por hectárea y por aplicación. Se estima por lo tanto que asperjar todos los cafetales afectados de Kenya costaría US\$810,000, resultando en una ganancia neta de US\$2,910.000.

### *Aspersiones para el control de la roya del café en Brasil*

En septiembre de 1970, el Departamento de Microbiología de la Universidad Federal de Vicosa, Estado de Minas Gerais, inició un programa de investigación financiado por el Instituto Brasileiro del Café, para llevar a cabo pruebas de campo para la evaluación de fungicidas para el control de la roya del café. El propósito fue el de establecer épocas de aplicación, dosis y frecuencia de aplicación. Chaves y otros (7) hicieron las primeras pruebas de campo en Brasil en tres estudios. En el primer experimento los tratamientos fueron: caldo bourdelés al 1% y al 2%; Cobre Sandoz (cuprous oxide 50% Cu) a 4.0 y 8.0 Kg/Ha; Cupravit Verde (Copper Oxychloride 50% Cu) a 4.0 y 8.0 Kg/Ha; Kocide 101 (cupric hydroxide 58% Cu) a 3.5 y 7.0 Kg/Ha; y Difolatan (Captafol 80%) a 2.0 y 4.0 Kg/Ha. El segundo experimento incluyó: caldo bourdelés al 1%; Daconil 2787 (tetrachloroisophthalonitrile 75%) a 2.4 Kg/Ha; Phaltan (N-trichloromethylthionphthalimide 50%) a 3.0 Kg/Ha; Hokko Suzo (tin triphenyl acetate 20%) a 1.2 Kg/Ha; Ditano S-31 (maneb 53% + sulfato de níquel 19%) a 0.42 Kg/Ha; y Rhodisan (ziram + aceite mineral) a 4.8 Kg/Ha. En el tercer experimento los tratamientos fueron: caldo bourdelés al 1%; BASF 3050 (Mebenil); Tecto 60 (thiobendazole 60%) a 1.2 Kg/Ha; Benlate (benomyl) a 0.72 Kg/Ha; y BASF 3170F a 2.0 Kg/Ha.

Las pruebas se hicieron en una plantación a 450 metros sobre el nivel del mar, con árboles de 12 años que habían sido recepados dos años antes dejando los brotes a libre crecimiento. Las plantas de la variedad Mundo Novo tenían en promedio 1.8-2.0 metros de altura. Cada árbol considerado

como una unidad, tenía de tres a cuatro brotes que se tocaban en el centro al crecer libremente. Se estimó que cada árbol tenía cerca de 22 metros cuadrados de área foliar. En el primer experimento la parcela consistió de 20 árboles y en los otros dos de 10 árboles. El diseño experimental fue el de bloques al azar con tres repeticiones. La intensidad de la enfermedad fue evaluada a intervalos de tres semanas, tomando al azar 5 ó 10 hojas de cada árbol a una altura de 80-90 cm. Se evaluó un total de 100 hojas por parcela y se determinó el porcentaje de hojas infectadas y el número de lesiones por hoja. Las aplicaciones se efectuaron con bombas motorizadas de mochila, a razón de aproximadamente 250 litros por 1000 árboles. Las aspersiones se hicieron a intervalos de 4 semanas a partir de septiembre de 1970, hasta marzo de 1971, con un total de seis aspersiones.

Estos experimentos (7) demostraron que la roya del café puede ser controlada en forma efectiva con aplicaciones de fungicidas a base de cobre. Sin embargo, los fungicidas orgánicos zineb, Difolatan y Rhodisan también dieron un control satisfactorio de la roya. Los árboles asperjados con Urbacid, Tecto 60, BASF 3170 y BASF 3050F mostraron síntomas de toxicidad.

Con esos resultados se hicieron planes para llevar a cabo pruebas de campo más completas durante la estación 1971-1972, en seis áreas diferentes distribuidas en los estados de Minas Gerais y Espírito Santo. Este fue un trabajo cooperativo entre los investigadores de la Universidad Federal de Vicosa y los extensionistas del Instituto Brasileiro del Café. Los resultados, aún sin publicar, se resumen a continuación.

Se pensó inicialmente en adaptar los resultados obtenidos en Africa a las necesidades del cafetalero brasileiro. Las dosis de cobre usadas para controlar la roya en Kenya —18 a 30 Kg/Ha/año— se consideran muy altas para Brasil, pues en Kenya los árboles están sembrados a 2.75 x 2.75 metros, con un solo árbol por postura y se poda rutinariamente. En Brasil en cambio se poda muy poco o no se poda y se usan varios árboles por postura. El área foliar de un árbol en Ken-

ya es pequeña en comparación con la de un árbol en Brasil. <sup>(a)</sup> Basados en los resultados de Kenya, nos sentíamos pesimistas acerca del éxito práctico que podía tener en Brasil, el control químico de la roya.

En nuestros primeros estudios, se usaron fungicidas a base de cobre (50% Cu) a razón de 2.0, 4.0 y 6.0 Kg/Ha, aplicado 2, 3 y 4 veces, con intervalos de cuatro semanas, principiando en la estación lluviosa en septiembre hasta marzo o abril. Todo esto en tres distritos diferentes del Estado de Minas Gerais. El principal objetivo fue el de investigar la posible interacción entre los intervalos de aplicación y las dosis de fungicida. Los resultados obtenidos en todos los casos fueron interesantes para nosotros. Aún con una dosis de 2.0 Kg/Ha y con aplicaciones espaciadas 4 semanas, el porcentaje de hojas infectadas estuvo por debajo de 5%, mientras que los árboles no tratados, en los tres distritos, mostraron un alto porcentaje de infección, entre 40 y 80 por ciento.

Las pruebas relacionadas con la época de aplicación que se realizaron en los estados de Minas Gerais y Espírito Santo, dieron información acerca de ciertos períodos críticos para el tratamiento de la roya en Brasil. Aparentemente los meses más favorables para el aumento del inóculo son enero, febrero y marzo; ocurriendo los más severos entre abril y junio. La mayor precipitación y las más altas temperaturas se registran en enero y febrero. Si se inician las aspersiones en septiembre, a intervalos de cuatro semanas, se obtienen altos niveles de control, siempre que las aspersiones se continúen hasta finales de febrero o más tarde.

Se hicieron pruebas evaluativas de fungicidas sistémicos orgánicos, en invernaderos y con plantas de café de cerca de seis meses. Las plantas fueron inoculadas artificialmente con *H. vastatrix* antes y después de las aspersiones. Usamos los siguientes productos: Hoe 6052 (2-methyl-5, 6-dihydro-4-H-pirano-3-carboxylic); Cela W 524 (N, N'-bis-(1-formamide-2,2,2-trichloroethyl)-piperazine); Benlate (methyl-N-benzimidazole-2-yl-N-(butylcarbamoyl) carbamate); Plant-

(a) En Brasil, un árbol de varios troncos y de 8 a 9 años de edad, puede tener de 25 a 50 metros cuadrados de área foliar.

vax (2, 3-dihydro-carboxanilide-6-methyl-1, 4-oxathiin-4, 4-dioxide); BASF 3050F (ortho-methylbenzocarboxianilide); BASF 3170F; BASF3192F; TCMTB (thiocyanomethylthio); y ME-84. Plantvax y Hoe 6052 mostraron ser los productos más prometedores en esta prueba, proporcionando una acción altamente terapéutica, sin síntomas visibles de fitotoxicidad, cuando se les aplicó 2, 10 y 18 días después de la inoculación. Estos productos también evitaron la producción de esporas en las lesiones. Los sistémicos BASF 3170F y BASF 3050F mostraron alguna acción terapéutica, pero también produjeron síntomas de fitotoxicidad que se manifestaron como clorosis en las márgenes de las hojas. El Benlate no tuvo efecto terapéutico, pero se comportó como un buen protector, por lo menos por 20 días.

Se seleccionaron para pruebas de campo Plantvax, Hoe 6052, Benlate y Cela W524. Se hicieron aspersiones con esos fungicidas espaciadas cuatro semanas y principiando en septiembre 1971 hasta marzo de 1972. Los resultados son aún preliminares, pero bajo las condiciones experimentales, los fungicidas Plantvax, Hoe 6050 y Cela W524 dieron un control muy pobre.

Aspersiones a bajo volumen están siendo investigadas en varias áreas de Brasil. Bombas motorizadas de espalda, con boquillas para bajo volumen, han sido usadas para aplicaciones de 15 a 100 litros de fungicidas a base de cobre que contienen 1.5 a 2.5 kilogramos de cobre metálico, para 1000 cafetos. Normalmente estas aplicaciones llevan aceite y agua por partes iguales, dispersante-adherente al 1% y 3.0 a 5.0 kilogramos de alguna base de cobre con 50% Cu. Aparentemente los resultados de estas aspersiones a bajo volumen son buenos. La evaluación estadística aún no se publica. El aceite mineral ha sido probado como vehículo en aspersiones de fungicidas a base de cobre y también con sistémicos. Aún no hay resultados finales, pero aparentemente hay grandes posibilidades, siempre que los aceites no resulten tóxicos al café. El desarrollo de formulaciones de este tipo podría ser de gran valor para aplicaciones desde el aire en aviones.

Como fue indicado por Chaves y otros (8), la adopción de programas de aspersión por los cafetaleros brasileiros, de-

pendará del nivel tecnológico de éstos y desde luego de la factibilidad económica de las aspersiones. Los agricultores no podrán implantar programas de aspersión a menos que sus producciones sobrepasen los 620-900 Kg. de café lavado por hectárea. Según estimados recientes, los costos de aspersión en los estados de Sao Paulo y Minas Gerais están entre US\$70 y US\$80 por cada 1000 cafetos.

#### LITERATURA CITADA

1. ANANTH, K. C. 1969. Timing and frequency of spraying for control of coffee leaf rust in southern India. *Experimental Agriculture* 5(2): 117-123.
2. BERKELEY, M. J. 1869. Note without title. *The Gardener's Chronicle and Agricultural Gazette*. Nov. 6, 1157.
3. BOCK, K. R. 1962. Control of coffee leaf rust in Kenya Colony. *British Mycological Society Transactions* 45(3):301-313.
4. BOCK, K. R. 1962. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. *British Mycological Society Transactions* 45(3):289-300.
5. BURDEKIN, D. A. 1964. The effect of various fungicides on leaf rust, leaf retention and yield of coffee. *East African Agricultural and Forestry Journal* 30(2):101-104.
6. BURDEKIN, D. A. 1960. The effect of Captan and copper sprays on leaf rust and leaf fall of coffee. In *Tanganyika Coffee Research Station, Research Report, 1960*. Lyamungu, Tanganyika Coffee Board, pp. 56-59.
7. CHAVES, G. M., CRUZ, J. C., CARVALHO, M. G., MATSUOKA, J., COELHO, D. T. & SHIMOYA, C. 1970. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). Revisao de literatura com observacoes e comentários sobre a enfermidade no Brasil. *Seiva* 30:1-75.
8. CHAVES, G. M., MATSUOKA, K., CARVALHO, M. G. & CRUZ, J. C. 1971. Ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). Resultados preliminares de ensaios sobre avaliacao de fungicidas em Minas Gerais e recomendacoes para o controle químico da enfermidade. *Seiva* 31(73): 120-137.
9. FIRMAN, I. D. & WALLIS, J. A. N. 1965. Low volume spraying to control leaf rust in Kenya. *Annals of Applied Biology* 55:123-137.
10. GRIFFITHS, E. 1969. Plant pathology. In *Coffee Research Foundation, Kenya, Annual Report 1968-1969*. pp. 38-43.
11. HOCKING, D. 1966. Recent developments in fungicides for leaf rust and leaf fall of arabica coffee. *Tanganyika Coffee News* 6(5):221-223.

12. HOCKING, D. & FREEMAN, G. H. 1968. Fungicides for arabica coffee. XVII. Relationships among some new fungicides, leaf rust (*Hemileia vastatrix*), leaf fall and yield. *Tropical Agriculture* 45(2):141-145.
13. MAYNE, W. W. 1932. Seasonal periodicity of coffee leaf disease. Second report. *Mysore Coffee Experiment Station Bulletin* No. 6. 22 p.
14. MAYNE, W. W. 1936. Annual Report of the Coffee Scientific Officer, 1935-1936. *Mysore Coffee Experiment Station Bulletin* No. 14. 21 p.
15. MAYNE, W. W. 1937. Factors affecting spray success in the control of coffee leaf disease. *Mysore Coffee Experiment Station Bulletin* No. 15, 46 p.
16. MAYNE, W. W., NARASIMHAN, M. J., & SREENIVASAN, M. S. 1933. Spraying of coffee in South India. *Mysore Coffee Experiment Station Bulletin* No. 9, 69 p.
17. NARASIMHASWAMY, R. L. 1961. El herrumbre del café (*Hemileia*) en la India. *Café (Turrialba)* 3(9):41-49.
18. NUTMAN, F. J. & ROBERTS, F. M. 1962. Coffee berry disease and leaf rust research. *Kenya Coffee* 27:13-17.
19. PARK, P. O. 1964. Studies on the application of a copper fungicide for the control of coffee leaf rust. *Annals of Applied Biology* 53(1): 133-150.
20. PARK, P. O. & BURDEKIN, D. A. 1964. Studies on the ageing of copper fungicides used to control coffee leaf rust. *Annals of Applied Biology* 54(3):335-347.
21. PEREIRA, J. L. 1972. Multi-row spray application for coffee disease control. *Internacional Pest Control* 1(1):6-19.
22. RAYNER, R. W. 1962. The control of coffee rust in Kenya by fungicides. *Annals of Applied Biology* 50(2):245-261.
23. RAYNER, R. W. 1957. Leaf rust. In *Coffee Board of Kenya. Monthly Bulletin 1955-1956*. Nairobi, pp. 101-110.
24. SACCAS, A. M. & CHARPENTIER, J. 1971. La rouille des caféiers due a *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Institut Francais du Café et du Cacao Bulletin* No. 10. 123 p.
25. SADEBECK, E. 1895. Einige Beobachtungen und Bemerkungen über die durch *Hemileia vastatrix* verursachte Blattfleckenkrankheit der Bäume Kaffee. *Forschlichnaturwissenschaftliche Zeitschrift*, IV p. 340-346.
26. WALLIS, J. A. N. & FIRMAN, I. D. 1962. Spraying arabica coffee for the control of leaf rust. *East African Agricultural and Forestry Journal* 28(2):89-104.

## RESISTENCIA DEL CAFE A LAS ROYAS

Carlos J. Rodríguez, Jr., Subdirector  
Centro de Investigaciones de la Ruya  
del Café, Oeiras, Portugal.

### Summary

Since the first impact on coffee growing by the rust *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., farmers and research men in Java, India, Ceylon, and Africa have sought and found resistant trees. However, early resistance selections of *Coffea arabica* L. soon succumbed, one after another, to new races of the rust fungus. In 1955 the Centro de Investigacao das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) was founded in Portugal. *H. vastatrix* is now known to consist of 25 races, one has been lost. Coffee hosts have been determined to have six dominant factors for resistance. The second rust, *H. coffeicola* Maubl. & Rog., is difficult to maintain under presently available controlled conditions. Information on sources of resistance to it in acceptable coffees is scanty. Screenings for resistance thus far have failed to demonstrate any *C. arabica* trees resistant to *H. coffeicola*.

Las pérdidas económicas de los caficultores de Ceylán, debidas a la "roya amarilla" y "roya anaranjada", causadas por el *Hemileia vastatrix* Berk & Br., fueron devastadoras. El desbalance económico y social que esa enfermedad ha causado en numerosos países es de importancia histórica (8, 15, 24, 35, 36). Todo eso ocurrió antes que los fitopatólogos estuvieran capacitados para combatir las enfermedades. A pesar de los avances modernos en el control por medio de fungicidas o por medio de la resistencia, esta enfermedad continúa siendo un factor limitante de gran importancia en el cultivo del café.

América tropical, que produce el 75% de la producción mundial de café, estuvo libre de la roya por muchos años y como no se tenía la roya, la selección de nuevas variedades ha sido siempre buscando alta productividad, calidad y adaptabilidad.<sup>(a)</sup> Cuando estas variedades fueron sometidas a pruebas en Portugal, todas resultaron susceptibles a la roya.

### *Centro de Investigaciones de la Roya del Café*

Por mucho tiempo se temió que la roya fuera introducida a América Latina. Desde 1952 el Dr. Frederick L. Wellman desde Costa Rica alertó a los organismos responsables del café en América sobre esta amenaza y sus efectos sobre la estabilidad social y económica de los países (35, 36).

En aquella época Wellman presentó un plan de acción para iniciar trabajos en la roya del café. Este plan resultó aceptable al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, así como a la llamada en ese entonces Foreign Operations Administration. Y fue así como con el Dr. William H. Cowgill realizó una gira de trabajo a través de África y Asia con el propósito de conocer los últimos avances en el control químico de la roya y para coleccionar materiales resistentes para propósitos de mejoramiento.

<sup>(a)</sup> Los nombres de algunas de las variedades comunes: Caturra, Mundo Novo, Typica, Padang, Bourbon, Catuai, Acaia, Colombia, Selección Especial, Guadalupe, Erecta, Honduras, Sarchí, México, Columnaris, etc. Todas de la especie *C. arabica* L., una de tantas especies de café (36).

En julio de 1952 los Drs. Wellman y Cowgill visitaron Portugal y allí al Dr. Banquinho d'Oliveira, quien en ese entonces se ocupaba de la roya del café en un pequeño invernadero de la Estación Agronómica Nacional de Portugal. El Dr. d'Oliveira estaba seleccionando cafetos por resistencia a la roya y al mismo tiempo estudiando las razas del hongo. Tanto Wellman como d'Oliveira estuvieron de acuerdo en que la Estación, aislada de cualquier plantación de café, era el lugar ideal para recibir material vivo de roya, así como plantas de café para estudios fundamentales de la enfermedad. Inmediatamente después continuó la gira Wellman-Cowgill por todo el mundo cafetalero colectando hojas con roya y semillas de cafetos resistentes que fueron enviadas a d'Oliveira para su estudio. Muy pronto estos materiales y otros similares estaban abarrotando las facilidades de d'Oliveira en Portugal.

Mediante planes y entendimientos entre d'Oliveira y Wellman, los gobiernos de Estados Unidos y Portugal, iniciaron en 1955 un proyecto cooperativo, FOA-No. 72-11-004 y más tarde FO-PO-5, que proporcionó fondos para una ampliación de las construcciones. Así resultó el Centro de Investigaciones de la Roya del Café (Centro de Investigações das Ferrugens do Cafeeiro — CIFIC). El Centro pertenece a la Junta de Investigaciones de Ultramar y recibe donaciones de la antigua Junta de Exportación de Café, del Instituto de Café de Angola y de la Comisión Interministerial del Café. Los informes sobre estudios de resistencia, semillas u otro material de propagación de plantas resistentes, pueden obtenerse libremente por cualquier país que los solicite.

Una de las primeras y más notables conclusiones de d'Oliveira fue que todos los cafés comerciales del Hemisferio Occidental eran susceptibles a la roya. Esto confirmó los temores de Wellman (38) con relación a la invasión del Nuevo Mundo por la roya. Basado en esa información el Dr. A. J. Riker, Profesor de la Universidad de Wisconsin, procuró estimular estudios para erradicar la roya al aparecer en el Nuevo Mundo, pero el proyecto nunca prosperó. Dieciocho años más tarde de la alarma de Wellman, la roya

apareció en América del Sur. Esto tuvo como resultado el inicio inmediato de estudios sobre la roya en el Nuevo Mundo. Se hacen ahora muchos progresos en los estudios de control, pero uno se pregunta cuál sería la situación de América Latina si no se hubiera contado con la colaboración del CIFC de Portugal.

### *Razas fisiológicas del Hemileia vastatrix*

Investigaciones efectuadas por Ward (27, 36) y Mayne (15, 16) demostraron que la resistencia a *H. vastatrix* existía, pero que no se mantenía por mucho tiempo. Por ejemplo, en India el cultivar "Coorg" estuvo libre de roya por muchos años, pero eventualmente sucumbió a la enfermedad (21). En 1911, también en India, un caficultor, el Sr. Kent, encontró un árbol completamente sano en una plantación con roya y guardó su semilla. Esta fue propagada y se convirtió en el famoso cultivar "Kent". Ya en 1918-20 se cultivaba en grandes extensiones, cuando de repente fue atacado por la roya.

A principios de la década de los treinta se estudió esta aparente pérdida de resistencia (15, 16). Mayne inoculó hojas de café suspendidas en agua y también aún pegadas al árbol y pronto demostró la existencia de cuatro razas del hongo *H. vastatrix*. Esto explicó cómo variedades que habían mostrado resistencia después de un tiempo sucumbían al ataque de una nueva raza del hongo. Al mismo tiempo, este investigador estableció que la resistencia del café a las razas existentes era gobernada por dos factores hereditarios.

Al conocer estos hallazgos, el Dr. d'Oliveira continuó sus trabajos con la roya en el CIFC. Usó 1320 muestras de roya, procedentes de 30 regiones del mundo y demostró que había 26 razas del *H. vastatrix*. Esta separación la hizo mediante la reacción a la inoculación de 14 hospederos diferenciales. Una de las razas, la V, se ha perdido. La raza II tiene un espectro de infección restringido, pero es la de mayor distribución; quizás eso se deba a la distribución tan amplia de ciertos cafés tetraploides, como los arabicas, que

nunca fueron seleccionados o cruzados buscando resistencia a la roya.

Otras razas de roya tienen capacidad de infección más amplia. Estas proceden de áreas en donde genes complementarios del hospedero han inducido una selección direccional; como en el caso de la raza I de Kenya y la raza III de Etiopía.

En algunos casos las razas aparecen en una sola región. Las razas VIII, XII, XIV, XVI, XXIII sólo existen en India, mientras que las razas XXII y XXVI sólo se encuentran en el Timor Portugués. Se ha postulado que esas restricciones pueden deberse a la presencia de ciertos hospederos, quizás híbridos inter e intra específicos que poseen genes de resistencia diferentes de los de *C. arabica*. Las razas IV, XI, XIX, XX, XXI están aparentemente asociadas con los cafés diploides como algunas líneas de Robusta, *C. canephora* Pierre. La composición genética (3, 6, 23-26, 29, 30, ver sus tablas y citas) de las razas de la roya se basa fundamentalmente en la teoría de gene por gene de Flor (23).

### *Resistencia a Hemileia vastatrix*

Inoculaciones de una gran variedad de árboles y plantas menores han demostrado que ninguna es susceptible (26), excepción hecha de las especies del género *Coffea*. Se han inoculado muchos otros géneros de la familia Rubiaceae, a la cual pertenece el café, encontrando que, haciendo a un lado el *Coffea* todos son inmunes a la roya. Cientos de miles de plantitas de café pertenecientes a 5834 introducciones fueron inoculadas con las 24 razas de roya. A partir de sus reacciones pudieron delinearse 21 grupos. Se encontró que en *C. arabica* y en ciertos híbridos interespecíficos tetraploides, existen diferencias que resultan de seis factores (2). Conociendo ésto, ha sido posible, mediante cruzamientos controlados en el CIFC, producir cultivares que combinan varios factores de resistencia a una gran variedad de razas (6, 24, 29).

*Resistencia en C. arabica tetraploide.*—Ninguna selección de *C. arabica* pura tetraploide es totalmente resistente o to-

talmente susceptible a todas las razas conocidas de la roya. Los arábicas se clasifican en diez grupos:  $\beta$ , E, D,  $\alpha$ , C, Y, J, L, I y W variando en susceptibilidad de 22 a sólo 3 razas (3). Es importante hacer notar que los cultivares de *C. arabica* que se encuentran distribuidos en el Oriente, Africa y Occidente proceden de un tronco genético muy restringido, una planta seleccionada en Yemen (17, 36). A pesar de la susceptibilidad general a la roya, estas variedades tienen en su composición genética el factor conocido como "S<sub>H</sub>5" que les confiere una resistencia especial a ciertas razas de roya que atacan a los cafés diploides.

El gene del hospedero "S<sub>H</sub>2" asociado con "S<sub>H</sub>5", se ha encontrado en "Kent" de la India, y sus derivados K.7, SL.6, KP.423, H.66 y en S.16 Wollamo de Etiopia; todos pertenecientes al grupo D. Todos los demás grupos, excepto L, son de Etiopia, en donde se encuentra la mayor variabilidad genotípica (3, 25). El grupo  $\beta$  es susceptible a 22 razas de roya, pero es resistente a las razas raras VI y XVIII.

El gene del hospedero "S<sub>H</sub>1" está en el grupo donde se encuentran las introducciones Dilla & Alghe; el factor "S<sub>H</sub>4" está en la introducción S.12 Kaffa (grupo Y). Estos son resistentes a 16 y 15 razas respectivamente y junto con el grupo E que tiene el factor "S<sub>H</sub>5" han dado el germoplasma del cual resultan los grupos C, I, J, W. El grupo C en el que se encuentran cafés del norte de Africa como el Geisha, S.17 Yrgalem, U.1 Dalecho y Sudan Barbuk, combinan los factores "S<sub>H</sub>1" y "S<sub>H</sub>5". En el grupo J están las introducciones S.4 Agaro y S.6 Cioiccie con los factores "S<sub>H</sub>4" y "S<sub>H</sub>5". De nuevo en el S.12 Kaffa está el grupo I con los factores "S<sub>H</sub>1" y "S<sub>H</sub>4" y en el grupo W también del S.12 Kaffa están los factores "S<sub>H</sub>1", "S<sub>H</sub>4" y "S<sub>H</sub>5". Estos grupos son resistentes a 17, 18, 19 y 21 razas respectivamente. El S.12 Kaffa tiene tres grupos de resistencia I, W y Y lo que indica la colección al azar de la semilla (31) de donde vino y también la gran variabilidad genotípica existente en Etiopia (3, 25).

La resistencia del grupo L está condicionada por los factores "S<sub>H</sub>1", "S<sub>H</sub>2" y "S<sub>H</sub>5". Este se encuentra en Puerto

Rico, producto de una polinización abierta de *C. arabica*. También puede obtenerse de los híbridos artificiales de los grupos D y C. Nunca se ha encontrado una planta del grupo L que sea procedente de Etiopía, lo que indica lo raro de encontrar plantas del grupo D en ese lugar.

*Resistencia de híbridos tetraploides.* Las selecciones de la India S.288-23, S.333, S.353 4/5, S.795, y la serie BA han resultado de cruces artificiales entre *C. arabica* y *C. liberica* Bull ex Hiern (20). De ellos ha salido el grupo de hospederos G, resistente a 19 razas y el H resistente a 20 razas. En el Híbrido de Timor, aparentemente un cruce casual entre *C. arabica* y *C. canephora*, el 95% de las plantas son del grupo A, es decir, resistentes a todas las razas de la roya, mientras que 5% son del grupo R, resistentes a sólo 2 razas y al grupo E, resistentes a 7 razas (2). Este Híbrido de Timor presenta una gran variabilidad fenotípica, lo que da una gran oportunidad de selección para ciertas condiciones específicas (34). En Brasil se han obtenido plantas de los grupos A y E, mediante cruces artificiales entre *C. arabica* y *C. canephora* (tetraploide) y posteriores retrocruzas con *C. arabica*. El híbrido C.387, un híbrido natural de *C. arabica* x *C. Dewevrei* De Wild. & Dru., se encontró en Brasil y fue retrocruzado varias veces con *C. arabica* (18). Las progenies resultantes fueron de los grupos A, E y M. En el muy conocido Híbrido Kawasari (*C. liberica* x *C. arabica*) hay plantas de los grupos A y M.

*Resistencia en cafés diploides.* En las pruebas que se hacen en el CIFC con cafés diploides se ha dado especial énfasis a *C. canephora* por su importancia económica (1, 11). En este la mayor parte de las plantas son de los grupos A y F (susceptibles a todas las razas), pero muy pocas pertenecen a los grupos Q, P, K o  $\beta$  que son intermedias. Otras especies de *Coffea* diploides probadas son: *liberica*, *dewevrei*, *excelsa* Chev., *neo-arnoldiana* Chev., *aruwimiensis* Chev., *dybowski* Pierre, *abeokutae* Cramer, *klainii* Pierre, *eugenioides* Moore y *ligustroides* Moore, procedentes de mu-

chos lugares. La mayor parte está en el grupo A, es decir, resistentes a todas las razas, aunque en algunos casos se encontraron plantas totalmente susceptibles lo que las coloca en el grupo F. Plantas de *bengalensis* Heyn ex Roem. & Schult., *lebruniana* Germ. & Kesl. y la mayoría de *racemosa* Lour, resultaron susceptibles a todas las razas cuando fueron probadas en el CIFIC. Según informes de la India (22) *travancorensis* Wight & Arn. y *wightiana* Wall., también son susceptibles.

Debe hacerse notar que la condición de diploide por sí, no confiere resistencia a la roya. Carvalho en Brasil encontró un *C. arabica* diploide; estacas de esta planta fueron probadas en CIFIC y resultaron pertenecer al grupo E, susceptibles a 17 razas, es decir, exactamente igual a la planta madre normal, *arabica* tetraploide.

#### *Estudios sobre la fisiología de la resistencia*

En la actualidad se estudia el fenómeno de resistencia a la roya del café, para determinar sus mecanismos fisiológicos o bioquímicos. En 1934 Taschdijian (32) indicó una posible correlación entre la tasa de transpiración y el grado de resistencia. Veintitrés años más tarde Dias (9) no pudo confirmar esta correlación.

Estudios preliminares (7, 19) indican un posible efecto de los fenoles y de la fenol-oxidasa sobre la resistencia. En Brasil se inocularon hojas sanas de plantas susceptibles a 19 razas. Los fenoles totales fueron más altos en la primera serie. Después de cierto tiempo de la inoculación con el hongo, las hojas susceptibles mostraron una tendencia a incrementar el contenido de fenoles, en cambio en los tejidos resistentes el contenido se mantuvo nivelado y constante.

Se estudió, en el CIFIC, la actividad de la fenol-oxidasa. Los resultados (4) mostraron que la mayor actividad de esta enzima tuvo lugar en las plantas resistentes a todas las razas del hongo. Estudios superiores de Guedes y Rodríguez en el CIFIC (sin publicar) mostraron que no hubo correlación entre el número de bandas en el espectro de acrylamida gel

isozyme para fenol-oxidasa y el grado de resistencia de las plantas.

También en el CIFC, Rodríguez, Lewisi y Madeiros estudian (sin publicar) la inducción de "phytoalexin", con resultados bastante sugerentes. Se usaron cultivares de café de los grupos C y D, ya que sólo difieren en un factor de resistencia y también se usó una planta del grupo E que era susceptible. Se inocularon con royas que también diferían en un solo factor de virulencia. Varios días después de la inoculación se tomaron hojas y se prepararon difusiones que fueron posteriormente condensadas. Gotas de las difusiones fueron probadas con uredosporas. Las difusiones preparadas con hojas resistentes inoculadas redujeron el porcentaje de germinación de las esporas y la longitud del tubo germinativo. Las difusiones preparadas con hojas susceptibles no tuvieron ningún efecto inhibitorio sobre la germinación de las esporas ni sobre la longitud del tubo germinativo (en algunos casos hasta se observó cierto estímulo). Estos resultados están siendo estudiados cuidadosamente a fin de comprender mejor el tipo de sistema inhibitorio.

#### *Estudios con Hemileia coffeicola*

Al hongo *H. coffeicola* se le conoce como "roya polvorienta" o "roya gris" del café y aparentemente causa menos daño que los otros hongos de la especie. Hasta ahora se ha mantenido en Angola, Camerún, República Centro Africana, Gabon, Uganda y las islas de Fernando Poo y Sao Tomé.

En la actualidad se llevan a cabo estudios generales y detallados sobre este hongo. Se está acumulando información y la investigación se realiza en el medio ambiente en el que el *H. coffeicola* se desarrolla. Hasta ahora ha sido difícil mantenerlo bajo las condiciones de invernadero que se dispone en el CIFC en Portugal. Debido a que sus daños no son aparentemente tan severos, se ha hecho menos investigación sobre este hongo. Se espera que esto cambie. De hecho

se ha notado (28) que la información sobre este hongo es muy limitada, por lo tanto requiere más atención científica.

Inoculaciones bajo condiciones de campo realizadas en 285 introducciones de café arábica mostraron que todas eran susceptibles a *H. coffeicola*. Esto es muy importante pues al entrar este hongo en un país con arábicas resistentes a la roya anaranjada pueden resultar plantas atacadas por la roya polvorienta o gris. Por otro lado, en algunos lugares en los que la roya anaranjada se ve reducida debido al frío han resultado los cafés arábicas fuertemente atacados por *H. coffeicola* (37).

En relación con su diseminación, debe determinarse el rango de plantas hospederas del *H. coffeicola*. Con las pruebas que ya se han hecho se ha demostrado que hay una gran cantidad de géneros de la familia Rubiaceae que no son afectadas por este hongo. También se ha determinado que no ataca varias especies del género *Coffea* como *canephora*, *eugenioides*, *abeokutae*, *congensis*, *excelsa*, *liberica*, *salvatrix* Swynn. & Phil. y tampoco al Híbrido Kawasari.

El trabajo hasta ahora ha sido un tanto limitado y aún no se puede decir nada en relación con las razas del hongo *H. coffeicola*. Se inician ahora algunos estudios sobre la resistencia del hospedero pero lo que se logre dependerá de lo que se pueda averiguar sobre la patogenicidad y relaciones con el ambiente. Se necesita, muy particularmente, disponer de cámaras en las que se puedan duplicar, en forma artificial las condiciones ambientales que se requieren para que el *H. coffeicola* produzca la infección y la enfermedad. Los únicos estudios de inoculación hechos hasta ahora han sido con muestras de roya traídas de Sao Tomé.

### Conclusiones finales

Estudios intensivos sobre la herencia de la resistencia entre los cultivares de café a *H. vastatrix* se están llevando a cabo. Bettencourt & Carvalho (2) y Goujon (13) recomiendan hacer mezclas de cultivares con componentes múltiples de genes. De acuerdo con lo observado en el CIRC

la mejor resistencia se encuentra en las selecciones del Híbrido de Timor que no han sido atacadas por *H. vastatrix*. Lo que es más, este cultivar ha mantenido su resistencia en plantaciones comerciales por más de tres décadas (12), es de buena calidad, produce bien y tiene buen contenido de cafeína (10). En el CIFIC se le ha retrocruzado con los mejores arábicas y los materiales  $F_2$  y  $F_3$  han sido distribuidos a varios países. Existe la posibilidad de usar la herencia del Timor para proporcionar resistencia contra la enfermedad de la cereza, CBD (5, 33).

Por el momento no se tiene información de otra fuente de resistencia horizontal, no específica contra la *H. vastatrix*, lo cual sería muy deseable. Debe buscarse entre los cafés nativos y posiblemente en plantaciones de composición mixta en las que los cafetos han estado en contacto con la roya por mucho tiempo.

El papel que juega el hiperparasitismo en la reducción de la severidad de la enfermedad, está siendo investigado. Los resultados no se obtienen fácilmente. Los hiperparásitos que más corrientemente se han encontrado asociados con la roya son los hongos *Verticillium hemileiae* Bour. y *Cladosporium hemileiae* Stey. Se le está dando especial atención al complejo *Verticillium — Hemileia* haciendo observaciones bajo el microscopio electrónico y de otro tipo. Se sabe (14) que las esporas del hongo sufren un colapso cuando son invadidas por el *V. hemileiac*. Debe conocerse más acerca de la manera de incrementar este efecto antibiótico.

#### LITERATURA CITADA

1. BETTENCOURT, A. J. & C. J. RODRIGUEZ, JR. 1965. Routine screening for resistance to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. on *Coffea canephora* Pierre and *Coffea* spp. accessions from different regions of the world. p. 100-120. In Coffee Rust Research Center Progress Report 1960-1965.
2. BETTENCOURT, A. J., & A. CARVALHO. 1958. Melhoramento visando a resistencia do cafeeiro a ferrugem. *Bragantia* 27(4):35-68.
3. BETTENCOURT, A. J., & JOSE LOPES. 1968. Preliminary report on the coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) material received from the FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-65, p. 124-140. In Report of FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-65. FAO, Rome, 1968.

4. BRUGES, JOAQUINA, & J. CONTREIRAS. 1967. Aspects biochemiques de la resistance du cafeier a l'*Hemileia vastatrix*. Port. Acta Biol. 10:75-88.
5. CANNELL, M. G. R. 1971. Crop physiology, p. 41-48. In Coffee Research Foundation, Kenya. Ann. Rept. 1970-71.
6. Centro de Investigacao das Ferrugens do Cafeeiro. 1971. Oeiras, Portugal. 29 p.
7. Coffee Board Research Department 1970. Twenty third annual detailed technical report (1967-70). Mysore, India. 232 p.
8. CRAMER, P. J. S. 1957. A review of literature of coffee research in Indonesia. SIC Editorial. Inter American Inst. Agric. Sci., Turrialba, Costa Rica. Miscellaneous Publication No. 15.
9. DIAS, MARIA, A. F. R. 1957. Aspectos fisiologicos de imunidade susceptibilidade do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*. A taxa transpiratoria e a resistencia ao fungo. Revta. Cafe Portugal 4(15):52-67.
10. FERREIRA, L. A. B., H. D. VILAR, M. A. C. FRAGOSO, M. C. AGUIAR, & M. M. GONCALVES. 1971. Subsídios para a caracterizacao do grao de cafe do Hibrido de Timor. MEAU — 692. Missao de Estudos Agronomicos do Ultramar. Lisboa. 39 p.
11. FERWERIDA, F. P. 1958. The supply of better planting material. 2. Canephoras (Robustas). Coff. Tea Ind. 81:58-63.
12. GONCALVES, M. M., & E. DAEHNHART. 1971. A *Hemileia vastatrix* B. & Br. em Timor. Nota sobre a sua importancia economica e o melhoramento da cafeicultura face a doenca. MEAU-666, Missao de Estudios Agronomicos do Ultramar. Lisboa. 17 p.
13. GOUJON, M. 1971. Considerations a propos de la resistance des plantes. Le cas particulier des cafeiers attaqués par les rouilles orangée et farineuse. Cafe Cacao The 15:308-327.
14. LOCCI, R., G. MINERVINI FERRANTE, & C. J. RODRIGUES, JR. 1971. Studies by transmission and scanning electron microscopy on the *Hemileia vastatrix* — *Verticillium hemileiae* association. Riv. Patol. Veg. 7:127-140.
15. MAYNE, W. W. 1936. Annual report of the coffee scientific officer, 1935-36. Mysore Coff. Expt. Sta. Bull. 14, 21 p.
16. MAYNE, W. W. 1942. Annual report of the coffee scientific officer. 1941-42. Mysore Coff. Exp. Sta. Bull. 24, 24 p.
17. MEYER, F. G. 1965. Notes on wild *Coffea arabica* from southwestern Ethiopia, with some historical considerations. Econ. Bot. 19:136-151.
18. MONACO, L. C., A CARVALHO, & C. S. NOVAES ANTUNES. 1967. Aproveitamento de uma combinacao hibrida interespecifica para fins de melhoramento do cafeeiro. Fitotecnia Latinoamericana 4:113-121.
19. MORAES, WALKYRIA B. C. 1971. Relatoria sobre estudos dos aspectos bioquimicos de resistencia de cafeeiros a *Hemileia vastatrix*. 30 p. In Instituto Brasileiro do Cafe — GERCA. Relatorios das pesquisas sobre *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Vol. I. Brazil.
20. NARASIMHASWAMY, R. L. 1960. Arabica selection S. 795. Its origin and performance. A study. Indian Coffee 24:197-204.

21. NARASIMHASWAMP, R. L. 1961. Coffee leaf disease (*Hemileia*) in India. *Coffee* 3:33-39.
22. NARASIMHASWAMP, R. L., K. K. NARAPANAN NAMBIAR, & M. S. SREENIVASAN. 1963. Progress report on work of testing races of leaf disease fungus on coffee selections and collections at Central Coffee Research Institute, Balehonnur. *Indian Coffee* 27:261-266.
23. NORONHA-WAGNER, M., & A. J. BETTENCOURT. 1967. Genetic study of the resistance of *Coffea* sp. to leaf rust. I. Identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. *Canadian J. Bot.* 45:2021-2031.
24. d'OLIVEIRA, B. 1958. Selection of Coffee types resistant to the *Hemileia* leaf rust. *Coff. Tea Ind.* 81:112-120.
25. d'OLIVEIRA, B., & C. J. RODRIGUES, JR. 1959. Progress Report to Ethiopia. *Garcia de Orta* 7:279-292.
26. d'OLIVEIRA, B., & C. J. RODRIGUES, JR. 1961. O problema das ferrugens do cafeiro. *Revta. Cafe Portugal* 8(29):5-50.
27. RAPNER, R. W. 1930. Rust disease of coffee. 3 — Resistance. *World Crops* 12(7).
28. RODRIGUEZ, C. J., JR. 1957. Nota sobre a resistencia de algumas especies de *Coffea* a *Hemileia coffeicola* Maubl. & Rog. *Revta. Cafe Portugal* 3(12):48-71.
29. RODRIGUEZ, C. J., JR., & A. J. BETTENCOURT. 1965. Routine screening for resistance to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. on *Coffea arabica* L. accessions from different coffee producing regions of the world, p. 47-99. In *Coffee Rust Research Center, Progress Report 1960-1965*. Oeiras, Portugal.
30. RODRIGUES, C. J., JR., A. J. BETTENCOURT, & J. LOPES. 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, p. 21-27. In *Coffee Rust Research Center, Progress Report 1960-1965*. Oeiras, Portugal.
31. Sylvain, P. G. 1955. Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. *Turrialba* 5:37-53.
32. TASCHDJIAN, E. 1934. Identificazione fisiologica di differenti linee di *Coffea arabica*. *Agricoltura colon.* 24:428-431.
33. VERMEULEN, H. 1966. Plant Pathology, p. 57-60. In *Coffee Research Foundation Kenya. Ann. Rept.* 1964-65.
34. VISHVESHWARA, S., & A. G. GOVINDARAJAN. 1970. Studies on Hibrido de Timor coffee collection. *Indian Coffee* 34:71-78.
35. WELLMAN, F. L. 1952. Peligro de introducción de la *Hemileia* del café a las Américas. *Turrialba* 2:47-50.
36. WELLMAN, F. L. 1961. *Coffee Botany Cultivation and Utilization*. Leonard Hill, London. 488 p.
37. WELLMAN, F. L. 1970. The rust *Hemileia vastatrix* now firmly established on coffee in Brazil. *Plant Dis. Rptr.* 54:539-541.

PUBLICACION 2007

# RAZAS DEL PATOGENO Y RESISTENCIA A LA ROYA DEL CAFE

C. F. RODRIGUEZ  
R. J. BETTENCOURT  
L. RUIZ



**IICA** zona norte

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, 1985

1. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks following the author's permission.)
2. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
3. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
4. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
5. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
6. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
7. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
8. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
9. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
10. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
11. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
12. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
13. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
14. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
15. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
16. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
17. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
18. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
19. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)
20. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 1951, **91**, 105. (Cited with thanks with the permission of the author.)

# RAZAS DEL PATOGENO Y RESISTENCIA A LA ROYA DEL CAFE

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



**IICA** zona norte

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, 1976



# RAZAS DEL PATOGENO Y RESISTENCIA A LA ROYA DEL CAFE

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

"Translated, by permission, from **Annual Review of Phytopathology**, Volume 13, Copyright C 1975 by Annual Reviews Inc. All rights reserved"

\* Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro,  
Oeiras, Portugal.

\*\* Instituto de Café de Angola, Luanda, Angola.



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 CAFÉ

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. carris-soi* 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 África. 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 Doddengooda, 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 Algehe, 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 intemacional, 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 Investigaçã 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 CIFIC 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  $\beta$ , D,  $\alpha$ , C,  $\gamma$ , J, L, I, y W, los que varían desde susceptibilidad a 28 razas (grupo  $\beta$ ) 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 CIFIC 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  $\beta$  (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  $\gamma$  (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 ( $\gamma$  x E) contiene los tipos S. 4 Agaro y S. 6 Cioiccie; el grupo I ( $\alpha$  X  $\gamma$ ) con el tipo S. 12 Kaffa; y finalmente el grupo W (C X  $\gamma$ ) representado también por el tipo S. 12 Kaffa. El hecho de que tres grupos fisiológicos diferentes ( $\gamma$ , 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 Africa Ecuatorial Francesa en áreas en las que el café arábica había sido abandonado, y de aquí fué 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. eugenioides*; *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 Kestl., 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. Wightiana* 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 fue el Kalimas, encontrado en 1886 en la plantación de Kalimas y que fue 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 Bourbón rojo y Mundo Novo en el Instituto Agronómico de Campinas (49). Progenies de este C. 387 han sido probadas en el CIFIC 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 aptos 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 CIFIC 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 CIFC.

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 arábigos 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 CIFC, 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 CIFC 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 CIFC 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 Distribución 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													
Braail	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	
Coata 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 CIFIC de los grupos fisiológicos de café, Noronha-Wagner & Bettencourt (5, 52) trabajando con *C. arabica* (grupos B, E, C,  $\alpha$ , D, I, W, J,  $\gamma$ , 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 CIFIC con progenies de las plantas CIFIC 832/1 (Híbrido de Timor-1) del grupo A y la planta CIFIC 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 CIFIC, 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 CIFIC, 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 CIFC 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 CIFC. Entre los más sobresalientes se ha obtenido la progenie UFV 386 de la generación  $F_3$  del híbrido del CIFC 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 CIFC 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  $S_H 2 S_H 2$ ; Geisha A ( $S_H 1 S_H 1$ ), y S. 4 Agaro ( $S_H 4 S_H 4$ ) (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 IIAA. 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 & Alghe-IIAA 859 ( $S_H 1 S_H 1$ ); S. 12 Kaffa-IIAA 490 ( $S_H 4 S_H 4$ );  $F_3$  de Caturra rojo x Geisha-IIAA 1518 ( $S_H 1 S_H 1$ );  $F_2$  de Caturra x S. 795-IIAA 860 ( $S_H 3$ );  $F_3$  de Caturra x S. 4 Agaro-IIAA 1530 ( $S_H 4 S_H 4$ );  $F_2$  de K. 7 x Dilla & Alghe-IIAA 1526 ( $S_H 1-S_H 3-$ );  $F_2$  de S. 333 x Dilla & Alghe-IIAA 1517 ( $S_H 1-, S_H 3-$ );  $F_2$  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 ( $S_H 3 S_H 3$ );  $F_2$  de Caturra rojo x Geisha-U 289 y U 293 ( $S_H 1 S_H 1$ );  $F_2$  de Caturra rojo x S. 6 Cioiccie-U 278 ( $S_H 4 S_H 4$ );  $F_2$  de Caturra rojo x S. 4 Agaro-U 346 ( $S_H 4 S_H 4$ );  $F_2$  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  $S_H 1$ ,  $S_H 2$ ,  $S_H 3$  y  $S_H 4$ , 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. Bettencourt, 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 (73), 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 fué observada accidentalmente en casos de manchita sin tumefacción, fué 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 antifúngicas 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 porcentaje 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 inmunoelectroforesis.

## 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., Namekâta, T., Moraes, W. B. C., Oliveira, A. R., Figueiredo, M. B. 1973. Serological studies on coffee rust. *Arq. Inst. Biol.* 40:227-31
2. Bettencourt, A. J. 1973. Considerações gerais sobre o 'Híbrido de Timor.' *Instituto Agrônomico*. 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., Durandeau, 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 cafeeiro visando a resistência à ferrugem alaranjada. *Ciênc. Cult. São Paulo* 23:141-46
14. Carvalho, A., Monaco, L. C. 1972. Adaptação e produtividade de cafeeiros portadores de fatores para resistência à *Hemileia vastatrix*. *Ciênc. Cult. São Paulo* 24:924-32
15. Castillo J., Lopez, S., Torres, E. 1972. Comportamiento de introducciones de café con resistencia 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 resistencia a la roya del Café. *Centro Nac. Invest. Café*, Chinchiná, Colombia. 47 pp.
17. *Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro*. 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 cafeeiro. *Rev. Café Port.* 1(4):5-13; 2(5):5-12; 3(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 Orla* 7:279-92
25. D'Oliveira, B., Rodrigues, C. J. Jr. 1961. O problema das ferrugens do cafeeiro. *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 Cong. Int. Chimie des Cafés, Paris
27. Doubly J. A., Flor, H. H., Clagett, C. O. 1960. Relation of antigens of *Melampyris lini* and *Linum usitatissimum* to resistance and susceptibility. *Science* 131:226

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. Hjado, 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 Poerck, 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 interespecífica 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 cafeo (*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., Luensinger, 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

**ESTA OBRA FUE IMPRESA EN EL  
MES DE FEBRERO DE 1977, EN LOS  
TALLERES DE LA IMPRENTA DEL  
INSTITUTO INTERAMERICANO DE  
CIENCIAS AGRICOLAS - OEA, CON  
UN TIRAJE DE 1.500 EJEMPLARES.**



IICA  
PM-94

CONTRIBUCIONES DEL IICA  
AL CONOCIMIENTO DE LA  
ROYA DEL CAFETO

Autor

Título

Fecha  
Devolución

Nombre del solicitante

12 8 MAR 1994 *Lucia Abando*

DOCUMENTO  
MICROFILMADO

Fecha: - NOV. 1988

EDITORIAL IICA O.T. 000226