

Prevención y control de la roya del café

Manual de buenas prácticas
para técnicos y facilitadores

Elias de Melo Virgínio Filho
Carlos Astorga Domian



Serie técnica
Manual técnico no. 131

Prevención y control de la roya del café

Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores

Elias de Melo Virginio Filho
Carlos Astorga Domian

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Noviembre de 2015

CATIE no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en las páginas de este documento. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución. Se autoriza la reproducción parcial total de la información contenida en este documento, siempre y cuando se cite la fuente.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2015

ISBN: 978-9977-57-655-8

633.7394

V817 Virginio Filho, Elias de Melo
Prevenção y control de la roya del café: manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores / Elias de Melo Virginio Filho; Carlos Astorga Domian. – 1º ed. – Turrialba, C.R : CATIE, 2015.
96 p. : il. – (Serie técnica. Manual técnico / CATIE ; no. 131)

ISBN 978-9977-57-655-8

Handle <http://hdl.handle.net/11554/8186>

1. Coffea Arabica – Hemileia Vastatrix . 2. Hemileia Vastatrix – Enfermedades fungosas
2. Coffea Arabica - Hemileia Vastatrix – Control de enfermedades. 4. Hemileia Vastatrix – Buenas prácticas. I. Astorga Domian, Carlos. II. CATIE. III. Título. IV. Serie.

Créditos

Autores

Elias de Melo Virginio Filho
Carlos Astorga Domian

Revisores

Mirna Barrios
Rolando Cerda
Kauê de Sousa

Edición

Diagramación: Rocío Jiménez, Oficina de Comunicación e Incidencia, CATIE
Fotografías: Jacques Avelino: p.14; Shirley Orozco: p. 18, 25; Isabelle Merle: p. 19; Silvia Chaves: p. 33; Shaline Fernandes: p. 44, 83; Elias de Melo V.F.: p. 48, 58, 70, 76.

Contenido

Sección I. Caracterización de la enfermedad	10
Capítulo 1. Origen, epidemias e impactos de la roya del café	10
1.1 Origen y distribución de la roya anaranjada en el mundo	11
1.2 Epidemias e impactos de la roya del café en la producción y en la economía	13
1.3 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?	16
Bibliografía consultada	17
Capítulo 2. Descripción y caracterización del ciclo de vida de la roya del café	18
2.1 Clasificación taxonómica del agente causal	19
2.2 Descripción del agente causal de la enfermedad	19
2.3 Ciclo de vida del hongo y desarrollo en la planta de café	21
2.4. ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?	23
Bibliografía consultada	24
Capítulo 3. ¿Qué sabemos sobre las razas de roya del café?	25
3.1 Acción y reacción ante el ataque de la roya anaranjada	26
3.1.1 Razas de roya anaranjada presentes en el continente americano	27
3.1.2 Evolución de razas de roya anaranjada en el Centroamérica	28
3.2 Genes de resistencia del café y virulencia de la roya	29
3.3 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?	30
Bibliografía consultada	31
Capítulo 4. Factores ambientales que influyen en la roya del café	33
4.1 Temperatura y altitud	35
4.2 Precipitación y rocío	38
4.3 Efecto de la sombra del café en los factores ambientales y su relación con la roya del café	42
4.4 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?	45
Bibliografía consultada	46

Capítulo 5. Aspectos fisiológicos relacionados con la roya del café	48
5.1. Nutrición de la planta.....	49
5.2. Carga fructífera.....	52
5.3. ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?.....	54
Bibliografía consultada.....	56
Sección II. Diagnósticos y prácticas de control	58
Capítulo 6. Tipos de diagnósticos de incidencia de la roya del café en fincas cafetaleras	58
6.1 Método Anacafé para el diagnóstico de la roya del café.....	60
6.2 Método CATIE para el diagnóstico de la roya del café y otras enfermedades y plagas del café.....	62
6.3 Método Icafé para el diagnóstico de la roya del café.....	64
6.4 Método OIRSA para la identificación de la roya del café.....	66
6.5 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?.....	68
Bibliografía consultada.....	69
Capítulo 7. El sistema de alerta temprana	70
7.1 Diseño e implementación de un SAT para el control de la roya del café en Centroamérica.....	71
7.4 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?.....	74
Bibliografía consultada.....	75
Capítulo 8. Buenas prácticas de prevención y control de la roya del café	76
8.1 Manejo agronómico del cultivo de café.....	77
8.1.1 Poda y deshija del café.....	77
8.1.2 Fertilización.....	80
8.1.3 Sombra.....	81
8.2 Control genético del cultivo de café.....	83
8.3 Control químico del cultivo de café.....	90
8.4 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?.....	93
Bibliografía consultada.....	95

Presentación

Por más de 100 años la roya ha sido una amenaza para el café. En la última parte del siglo 20 se convirtió en una de las enfermedades más importantes que limitan la producción de café en las Américas. La falta de colaboración entre los países productores de café es uno de los factores centrales que ha llevado a la continua devastación por la enfermedad, que afecta los medios de subsistencia de los agricultores en toda la región. El CATIE es una de las pocas instituciones dedicadas a la investigación regional. World Coffee Research se enorgullece de asociarse con el CATIE para el lanzamiento de este manual de la roya del café. Derivado de la colección extensa de datos de CATIE sobre la roya del café, este manual servirá como una guía completa para los investigadores y extensionistas en Centroamérica para comprender y controlar el patógeno. Más importante aún, que servirá como una herramienta de formación para que los agentes de campo puedan transmitir información crítica para su público más importante: los productores de café de América Latina.”

David Andres Laughlin
Project Director | World Coffee Research

Agradecimientos

Los autores agradecen a todas las personas e instituciones que de una manera u otra posibilitaron la realización de la presente publicación. Un especial agradecimiento a Jacques Avelino (CIRAD) por sus aportes tanto en la conducción de investigaciones pioneras sobre la roya como por sus comentarios durante la fase de elaboración del documento.

A Jimmy Pico Rosado (INIAP), a Donal López y a Rogelio Villareyna Acuña por los aportes de sus investigaciones de posgrado en CATIE alrededor de temas actuales relacionados con la roya.

Al personal de apoyo administrativo y de campo que colabora con el experimento a largo plazo sobre sistemas agroforestales con café en el CATIE, por su compromiso y calidad en labores de apoyo a las investigaciones.

A World Coffee Research (WCR) por el apoyo financiero para la publicación de este manual.

A Promecafé y a los institutos del café de América Central, por la colaboración que durante los últimos años han ofrecido a las acciones emprendidas para tratar de entender y controlar las epidemias de roya en la región.

Siglas y acrónimos usados

Anacafé	Asociación Nacional de Café, Guatemala
ARS-USDA	(siglas en inglés) Servicio de investigación en agricultura. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CENTA	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdoba, El Salvador
CIFC	(siglas en portugués) Centro de Investigación de la Roca del Café
CIRAD	(siglas en francés) Centro de Investigación en Agricultura para el Desarrollo, Francia
FAO	Organización de las Naciones Unidas por la Agricultura y la Alimentación
Icafé	Instituto del Café, Costa Rica
Ihcafé	Instituto Hondureño del Café, Honduras
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
Magfor	Ministerio Agropecuario y Forestal, Nicaragua
MIDA	Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá
OIRSA	Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria
Procafé	Fundación para las investigaciones del café, El Salvador
Promecafé	Programa regional para la protección y modernización de la caficultura en Centroamérica y Panamá
Sagarpa	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México
SAT	Sistema de alerta temprana
WCR	World Coffee Research

¿Qué es este manual y cómo utilizarlo?

Este manual para la prevención y control de la roya del café surge como una necesidad ante la epidemia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) que se presentó en el ciclo productivo 2012–2013 en la región centroamericana. Como resultado de la epidemia, la cosecha se redujo en un 20%, con las consecuentes repercusiones sobre las familias productoras y dependientes de la actividad cafetalera, de manera directa o indirecta. Como resultado, se redujo también la cantidad de mano de obra utilizada para las labores agrícolas de recolección de café, lo que provocó desempleo y puso en riesgo la seguridad alimentaria de las familias.

La dinámica de comportamiento histórico de la roya del café ha mostrado ciclos de epidemias que se repiten a lo largo del tiempo, aunque cada uno con sus particularidades. Hay que estar permanentemente preparados para establecer medidas preventivas o de control que sean oportunas y efectivas. Para los países productores del continente americano, la epidemia del 2012-2013 tuvo una particularidad inédita ya que afectó al mismo tiempo a varios países de la región.

El manual pretende presentar una visión completa sobre la roya del café, desde el agente causal (hongo), su forma de vida, reproducción e incidencia en el cultivo de café, las interacciones y la discusión de cómo inciden los factores ambientales en el desarrollo de la enfermedad hasta llegar a convertirse en una epidemia. Entender estas interacciones es determinante para el trabajo no solo del personal técnico que brinda capacitación y asistencia técnica, sino también para las familias productoras que toman las decisiones de manejo durante los ciclos productivos.

El manual ofrece, además, los últimos resultados de investigación para entender los diferentes sistemas de producción y cómo estos tienen efecto en la incidencia de la enfermedad. Se resaltan los aspectos de manejo y las variables ambientales en los diferentes sistemas de producción; así como los hallazgos que ponen de manifiesto la necesidad de incorporar los nuevos conocimientos en el manejo agroecológico del cultivo. La ciencia no ha encontrado respuestas

La Biblioteca Orton-CATIE/IICA tiene una importante base de datos documental sobre la roya del café (<http://bibliotecaorton.catie.ac.cr/>) y tiene en desarrollo un portal específico donde se encuentra información relevante: <http://biblioteca.catie.ac.cr/royadelcafeto/>

completas a los factores que inciden en el desarrollo de la roya; sin embargo, los avances alcanzados son notorios y ayudan a esclarecer puntos básicos para la sostenibilidad del cultivo del café. Un ejemplo es la relación sombra-café-roya. En el pasado se ponía énfasis en los aspectos negativos (casi siempre en función de mal diseño y mal manejo), pero se han encontrado relaciones positivas entre la sombra y el control de la roya, dependiendo de las condiciones climáticas. Este manual es una herramienta para ayudar al personal técnico y promotor a difundir los nuevos conocimientos y desarrollar procesos de aprendizaje integral teórico-prácticos con las familias productoras de café, de forma que se fortalezca el desarrollo de sus capacidades.

Para el desarrollo de las sesiones de capacitación, se recomienda emplear la metodología zig zag¹ y/o la de escuelas de campo². El currículo debe diseñarse a partir del estado de los cafetales y los objetivos de las familias participantes.

1 Para conocer detalle de la metodología ver capítulo 7 “MIP en manos de familias rurales”, 2004, Staver C., CATIE: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/11554/3138/1/MIP_en_manos_de_familias_rurales.pdf

2 Ver “Las escuelas de campo del MAP-CATIE”, 2012, Gutiérrez-Montes et al, CATIE: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9230E/A9230E.PDF>

Sección I.

Caracterización de la enfermedad



Capítulo 1. Origen, epidemias e impactos de la roya del café

La roya del café es la más severa enfermedad del cultivo desde que fue reportada en 1869. La enfermedad ha causado grandes pérdidas en la producción y en las áreas de cultivo en países de Asia, África y América. Una vez que la enfermedad aparece y se establece en un lugar no ha sido posible erradicarla, a pesar de múltiples estrategias implementadas por las familias productoras. En consecuencia, las familias han tenido que adaptarse y convivir con la roya; así, se han desarrollado prácticas culturales y diversos métodos de prevención y manejo. Sin embargo, debido a las variaciones en el clima, en el manejo del cultivo y otras circunstancias que se tratarán en los capítulos subsiguientes, se producen ataques severos y generalizados (epifitias) en diferentes países y regiones que debilitan las plantaciones y generan grandes pérdidas en la producción. Estos efectos no solo son significativos durante un ciclo de producción sino también en los años subsiguientes (2 o 3 años). Ante el agotamiento del cultivo es frecuente que se apliquen podas intensas a los cafetos, lo que reduce aún más la producción a corto plazo.

1.1 Origen y distribución de la roya anaranjada en el mundo

El primer reporte de la roya del café se produjo en el año 1869 en el continente asiático, en Sri Lanka (antes conocido como la isla de Ceilán). Ese mismo año fue descrita por Miles Joseph Berkely, un especialista británico en hongos, quien describió al hongo responsable de la enfermedad y le dio el nombre científico de *Hemileia vastatrix* (Avelino y Rivas 2013).

Según Leppik (1970), por lo general una enfermedad se presenta, por primera vez, en o cerca del centro de origen de la especie a la cual afecta. La aparición de la roya del café en Asia fue motivo de discusión, por tratarse de un lugar muy distante del centro de origen del café (África). McCook (2006) propuso la hipótesis de que la roya del café fue introducida a Sri Lanka desde África del Este de forma accidental a través de plantas enfermas. La expansión de los británicos hacia Sri Lanka facilitó el movimiento de personas y bienes y, en consecuencia, de plantas con sus patógenos. Al llegar a Sri Lanka el hongo encontró las condiciones propicias para su desarrollo ya que la isla recibe lluvias abundantes, por efecto de los vientos monzónicos que favorecen varios de los procesos de la enfermedad.

Además, los colonos europeos en Sri Lanka habían cultivado el café en plantaciones homogéneas con materiales susceptibles y a plena exposición del sol, otro factor que contribuye al desarrollo de la enfermedad. Se debe recordar que en esa época las posibilidades de control químico de la enfermedad eran muy limitadas. Por ejemplo, las propiedades fungicidas del caldo bordelés fueron difundidas en el año 1885, es decir 16 años después del reporte de la roya anaranjada en Sri Lanka (Avelino y Rivas 2013).

Es bien conocido que el café presenta diversos grados de resistencia a la roya, especialmente los cafés silvestres de Etiopía; esto demostraría que, efectivamente, la enfermedad se originó en África. El primer reporte sobre el hongo pudo haberse hecho en 1861, antes del informe de Sri Lanka, por un explorador británico, quien observó la enfermedad en arbustos silvestres de café en la región del lago Victoria, África Oriental (Wellman 1952). En esa región, las especies de café más susceptibles a la enfermedad eran naturalmente raras, lo que puede explicar que durante muchos años la enfermedad pasara desapercibida (Saccas y Charpentier 1971). Posterior al reporte de la aparición de roya del café, el cultivo se expandió a muchas regiones del continente asiático, y con el cultivo también se expandió la enfermedad a los diferentes países (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de la roya del café (*H. vastatrix*) en el mundo y sus principales efectos en la producción entre los años 1869-1993

Año	Presencia de la enfermedad	Observaciones de aparición y repercusiones en la producción
1869	Sri Lanka (Ceilán)	Primer reporte de la roya anaranjada del café.
Sin fecha	Java y Sumatra	Reducción de la producción entre 30 y 50% en una sola temporada. Se expandió rápidamente a las tierras bajas de Asia; en Java el cultivo de café fue abandonado en altitudes inferiores a 1000 msnm.
1880 - 1890	Isla Reunión	No se conoce el año exacto de aparición de la enfermedad. La producción se redujo en un 75% en las décadas de 1880 – 1890.
1889	Filipinas	Cuarto exportador del mundo (7000 t); en 1892 prácticamente no exportó.
1966	Angola	Primer reporte de la roya del café en un país de África occidental
1970	Brasil, Estado de Bahía	Primer reporte de la roya del café en el continente americano. La tesis más fuerte es que fue dispersada desde África occidental por los vientos alisios.
1976	Nicaragua	Identificada en la región entre San Marcos y Masatepe en el litoral pacífico.
1976	Panamá	Impacto poco significativo desde que se detectó; impacto severo en el 2012 (Promecafé et al. 2013).
1979	El Salvador	Daños severos en 2010 y 2011; en 2012 se presenta la epifitía más severa desde su ingreso (Procafé 2013)
1980	Honduras y Guatemala	En Guatemala, en 2010 y 2011, se presentó en altitudes de 1219 - 1524 m.s.n.m.; en el 2012 en zonas más amplias (Anacafé 2013)
1981	Chiapas, México	Daños poco severos desde el ingreso de la enfermedad. A octubre 2012 la producción se redujo en un 30%.
1983	Costa Rica	Daños poco severos desde el ingreso de la enfermedad; impacto severo en el 2012.

Filipinas, por ejemplo, en término de tres años pasó de ser el cuarto exportador mundial de café a una producción casi nula en 1892. Las pérdidas provocadas por la enfermedad resultaron en la sustitución del café por el té (Rayner 1972) y la sustitución de *Coffea arabica* por *C. canephora* (café robusta), una especie mejor adaptada a altas temperaturas y con mayor resistencia a la roya del café (McCook 2006). Sin embargo, los países asiáticos continuaron produciendo café a altitudes mayores a los 1000 msnm donde el cultivo era menos susceptible a la enfermedad, ya que las condiciones del ambiente eran adversas al hongo.

La dispersión de la roya del café en el continente africano fue mucho más lenta, hasta llegar a la región de África Occidental. El primer reporte que se conoce fue en 1966, cuando llegó a Angola. Según McCook (2006), el lento progreso de la enfermedad se debió al poco desarrollo de la caficultura en África Central y Occidental debido a las fuertes crisis económicas de la primera mitad del siglo XX (la Gran Depresión y la Segunda Guerra Mundial).

La llegada de la roya del café al continente americano ocurrió en 1970, cuando fue reportada por primera vez en Brasil. Bowden et al. (1971) sugieren que las uredosporas (estructuras reproductivas) del hongo fueron transportadas por los vientos alisios desde África Occidental hasta Brasil. Por su parte, Waller (1972) propone que la enfermedad fue introducida accidentalmente en material vegetal o ropas contaminadas. Desde el momento de su detección en el continente americano, en un lapso de trece años se dispersó a todos los países productores de café desde el límite sur (Bolivia y Perú) hasta el límite norte en México.

1.2 Epidemias e impactos de la roya del café en la producción y en la economía

Desde la llegada de la roya del café a Bahía, Brasil en 1970 y su posterior diseminación por el continente americano, la preocupación del sector cafetalero ha ido en aumento debido a que la mayoría de variedades de café cultivadas son susceptibles a la enfermedad. La principal preocupación ha sido que se produjeran grandes epifitias como se presentaron en los países del continente asiático a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, debido al ataque de la enfermedad y, en consecuencia, la reducción paulatina de la producción de café casi hasta desaparecer.

Las primeras acciones que se tomaron en Brasil (Muller 1971), Nicaragua (Schuppener et al. 1977) y México (Gutiérrez y Carreón 1982) fueron la implementación de medidas para erradicar la enfermedad, a partir de las experiencias de Papúa Nueva Guinea. En este territorio, por tres ocasiones (1892, 1903 y 1965), intentaron erradicar la enfermedad con resultados temporales pero a partir de 1986 se reconoció que la enfermedad se había establecido definitivamente (Avelino y Rivas 2013).

Desde que la roya del café apareció en Brasil, en el área centroamericana los ministerios de agricultura y organismos a cargo del sector café iniciaron investigaciones orientadas a la evaluación de materiales brasileños con tolerancia a la roya del café. En 1978 se estableció el Programa Regional para la Protección y Modernización de la Caficultura en Centroamérica y Panamá (Promecafé). Este programa produjo un cambio significativo en la forma de pensar de los investigadores en los países de la región; así se inició una fase de modernización y mejoramiento de la caficultura en Centroamérica (Avelino y Rivas 2013).

El ingreso de la roya del café a Centroamérica no produjo los grandes estragos que se temía. Los productores y personal técnico implementaron las medidas y técnicas para manejar y convivir con la enfermedad. Desde 1976, cuando se reportó la presencia de la roya del café en Nicaragua (Schuppener et al. 1977), no se dieron ataques severos de la enfermedad; de hecho, no se cuantificó la reducción en la producción por efecto de la roya (Cuadro 2). A partir de 2010, empieza a aumentar la incidencia de la roya, y en la cosecha 2012-2013, se produce la epifitía temida que causó grandes pérdidas en la cosecha, la reducción de los ingresos a los productores y el desempleo (Cristancho et al. 2012).

El impacto del ataque de la roya del café en la región centroamericana durante la cosecha 2012-2013 fue del 15% en promedio. Honduras y El Salvador fueron los países con mayores porcentajes de pérdida (Cuadro 3). La baja de los precios del café en el mercado internacional



Cafetal en pleno sol devastado por la roya en Santo Domingo, Heredia, Costa Rica (febrero 2013). Foto: Jacques Avelino

Cuadro 2. Resumen de los principales ataques de roya del café reportados en diferentes países de la región centroamericana

Año	Epidemia	Referencias
1989 - 1990	Epidemia severa en Costa Rica (bajos precios del café y regreso al mercado libre del café)	Aguilar Vargas 1990, McCook 2009
1995 - 1996	Incremento de la incidencia en Nicaragua, no se reportan datos de daño.	Avelino 1996, McCook 2009
2002 - 2003	El Salvador (epidemia relacionada con la sobreproducción del año 2000)	McCook 2009
2008 - 2011	Colombia (condiciones favorables de clima para el desarrollo de la enfermedad)	Cristancho et al. 2012
2012 - 2013	Países de Centroamérica, México, Caribe, Perú y Ecuador	Avelino y Rivas 2013, Cristancho et al. 2012

Cuadro 3. Pérdidas estimadas por la epidemia de roya del café en la producción del ciclo 2012-2013a

País	Cosecha 2011-2012 (millones de sacos de 46 kg de café oro)	Pérdida en 2012-2013 (miles de sacos de 46 kg)	Porcentaje de pérdida	Estado de emergencia declarado
Honduras	7,10	2192 *	31 *	Sí
Guatemala	4,85	730 *	15 *	Sí
Costa Rica	2,01	97 **	5 **	Sí
Nicaragua	2,00	58 **	3 **	No
El Salvador	1,50	442 **	23 **	No
Panamá***	0,287	38,6**	13,5**	Sí
Total	17,75	3557,6	Prom. = 15 %	

a. Datos proporcionados por los institutos del café o ministerios de agricultura de los países indicados (Ihcafé, Anacafé, Icafé, Magfor, Procafé) en el marco del proyecto CATIE-CIRAD-Promecafé "Control de la roya del café en Mesoamérica" financiado por el gobierno de Noruega.

* Reducción de la producción con respecto a la cosecha del año 2011-2012, mayormente atribuida a la roya del café.

** Reducción de la producción con respecto a los estimados de cosecha del año 2012-2013, atribuida a la roya anaranjada.

*** Estimado de las información presentada por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) de Panamá (Promecafé et al. 2013).

en los años 2010 y 2011 fue otro factor que contribuyó al desarrollo de la enfermedad, ya que los productores redujeron las prácticas de manejo de los cafetales, la edad de los cafetales superó los 25 años y las variaciones del clima propiciaron el desarrollo de la enfermedad. Como resultado, al aumentar la incidencia de la roya, disminuyó la producción y se potenciaron los efectos colaterales negativos, particularmente los impactos socioeconómicos.

Promecafé e IICA (2013) indican que las pérdidas en el sector cafetalero en Centroamérica se han estimado en más del 19% de la producción; o sea, unos 3,5 millones de sacos de café de 60 kg (USD 499 millones). El 80% de los caficultores afectados son pequeños productores que carecen de otras fuentes de ingresos. Se estima que unas 373.584 personas (17,2% de la fuerza laboral del sector) fueron desplazadas como consecuencia del ataque. Cerca de 1,9 millones de personas dependen del café para su sustento, incluidos algunos de los trabajadores sin tierra más pobres de la región.

En el 2013 se promulgó el “Plan de acción con medidas inmediatas: Programa integrado de combate a la roya del café y recuperación de la capacidad productiva en Centroamérica”, con la participación de los institutos del café, los ministerios de agricultura, el IICA, Promecafé y CATIE. Una de las acciones principales fue el proyecto “Control de la roya del café en Mesoamérica” financiado por el Gobierno de Noruega (Avelino y Rivas 2013).

1.3 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?

Para desarrollar una sesión con productores y productoras se sugiere que el personal técnico y/o promotores utilicen la información contenida en el capítulo para preparar una síntesis de la información. Dicha síntesis debe incluir:

- Origen de la enfermedad y distribución en el mundo, incluyendo las Américas.
- Epifitía o daños severos que se han presentado en el continente americano producto del incremento de la enfermedad y las consecuencias que ha provocado la roya del café en la producción e ingresos de las familias.
- Referencias de cuando llegó la roya anaranjada a la localidad y los impactos que ha causado.
- Reflexión con los productores sobre sus experiencias directas con la roya.

Para las sesiones de capacitación con productores y productoras es muy útil apoyarse en la presentación de relatos de experiencias vividas por las personas participantes; en particular de la misma zona. Se pueden utilizar videos, textos con fotografías, visitas a fincas que permitan ilustrar los alcances tanto de los impactos negativos como las medidas de prevención y control que se conocen.

Bibliografía consultada

- Aguilar Vargas, R. 1990. La roya del café amenaza de nuevo. La Nación, San José, CR; 03 abr: 2C.
- Anacafé (Asociación Nacional del Café, GU). 2013. Situación de Guatemala. *In* Taller Nacional sobre la roya del café [Memoria. Ciudad de Guatemala. 20 ago 2013]. Presentación power point.
- Avelino, J. 1996. Informe de misión a Nicaragua (26/03/96-30/03/96). IICA. 6 p.
- Avelino, J; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del café. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>.
- Bowden, J; Gregory, PH; Johnson, CG. 1971. Possible wind transport of coffee leaf rust across the Atlantic ocean. *Nature* 229: 500-501.
- Cristancho, MA; Rozo, Y; Escobar, C; Rivillas, CA; Gaitán, AL. 2012. Outbreak of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Colombia. *New Disease Reports* 25(19): doi:10.5197/lj.2044-0588.2012.025.019.
- Gutiérrez Jiménez, M; Carreón Zúñiga, MA. 1982. Ante la roya del café. México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Folleto técnico no. 79. 45 p.
- Leppik, EE. 1970. Genes centers of plants as sources of disease resistance. *Annual Review of Phytopathology* 8(3514): 323-344.
- McCook, S. 2006. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. *Journal of Global History* (1): 177-195.
- McCook, S. 2009. La roya del café en Costa Rica: epidemias, innovación y medio ambiente 1950 - 1995. *Revista de Historia* 59-60: 99-117.
- Muller, RA. 1971. La rouille du caféier (*Hemileia vastatrix*) sur le continent américain. *Café Cacao Thé* 15(1): 24-30.
- Procafé (Fundación para las investigaciones del café, SV). 2013. Avances sobre acciones técnicas para el control de la roya del café en El Salvador. *In* Taller Seguimiento al Plan Regional (Procafé-SICA-CAC) y Plan Nacional para el control de la roya del café [Memoria. San Salvador, El Salvador. 8 jul 2013]. Presentación power point.
- Promecafé (Programa regional para la protección y modernización de la caficultura en Centroamérica y Panamá); IICA (Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura). 2013. La crisis del café en Mesoamérica: causas y repuestas apropiadas. <http://biblioteca.catie.ac.cr/royadelcafé/descargas/ROYA-MA.pdf>
- Promecafé (Programa regional para la protección y modernización de la caficultura en Centroamérica y Panamá); CIRAD (Recherche Agronomique pour le Développement, Francia); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2013. Taller Seguimiento al Plan Regional (Procafé-SICA-CAC) y Plan Nacional para el control de la roya del café [Memoria. Ciudad de Panamá. 24 mayo 2013]. 51 p.
- Rayner, RW. 1972. Micología, historia y biología de la roya del café. San José, Costa Rica, IICA-CATIE. Publicación Miscelánea. 68 p.
- Saccas, AM; Charpentier, J. 1971. La rouille des caféiers due à *Hemileia vastatrix*. *BulletinIFCC* V.10: 123 p.
- Schuppener, H; Harr, J; Sequeira, F. 1977. First occurrence of the coffee leaf rust *Hemileia vastatrix* in Nicaragua, 1976, and its control. *Café Cacao Thé* 21(3): 197-202.
- Waller, JM. 1972. Coffe rust in Latin America. *PANS*. 18(4): 402-408.
- Wellman, FL. 1952. Peligro de introducción de la *Hemileia* del café a las Américas. *Turrialba* 2(2): 47-50.

Capítulo 2. Descripción y caracterización del ciclo de vida de la roya del café

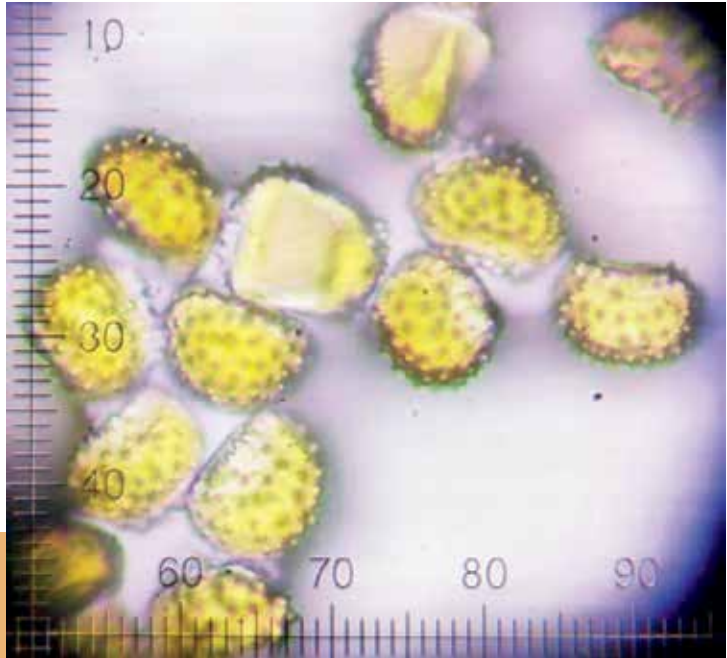


Foto: Shirley Orozco

2.1 Clasificación taxonómica del agente causal

La roya del café es producida por un hongo de la clase Urediniomycetes, perteneciente al género *Hemileia* (que significa mitad liso por la característica que presentan las uredosporas). Avelino y Rivas (2013) señalan que la clasificación taxonómica completa del hongo es:

Phylum: *Basidiomycota*
Clase: *Urediniomycetes*
Orden: *Uredinales*
Familia: *Chaconiaceae*
Género: *Hemileia*
Especie: *vastatrix*



Ampliación de las Uredosporas de la roya (x400) Foto: Isabelle Merle

2.2 Descripción del agente causal de la enfermedad

La roya del café es producida por un hongo que infecta las hojas. Los primeros síntomas que se observan son pequeñas manchas de color amarillo pálido en la parte superior de las hojas (Figura 1A). Estas manchas aumentan de tamaño gradualmente hasta producir unas masas amarillas en el envés de las hojas que corresponden a las fructificaciones (esporulaciones) del hongo llamadas uredosporas, las cuales son las estructuras reproductivas del hongo (Figura 1B). El hongo no rompe la epidermis de la hoja, como lo hacen la mayoría de las royas, sino que esporula a través de los estomas; o sea que este hongo no forma las pústulas típicas de las royas comunes (Figura 1C). Las lesiones polvorrientas en el envés de las hojas pueden ser de color amarillo-naranja a rojo-anaranjado y hay una variación considerable de una región a otra (Arneson 2011).

Las lesiones pueden desarrollarse en cualquier parte de la hoja, aunque principalmente en los bordes donde se concentran las gotas de lluvia y rocío (Figura 2A). El centro de las lesiones eventualmente se seca y se torna de color café; los márgenes continúan expandiéndose y produciendo uredosporas. A inicios de la estación lluviosa las primeras lesiones aparecen en las hojas inferiores y la infección progresa lentamente hacia arriba en el árbol. Las hojas infectadas caen prematuramente dejando largas extensiones de bandolas (ramas plagiotrópicas) desprovistas de hojas (Figura 2B).



Figura 1. Desarrollo de la roya en hojas de café (Fuente: Arneson 2011)

- A. Lesión inicial observada en el haz de la hoja
- B. Inicio de la producción de uredosporas en el envés de la hoja
- C. Lesión de roya del café en estado avanzado; se observa que no forma pústulas como las royas comunes

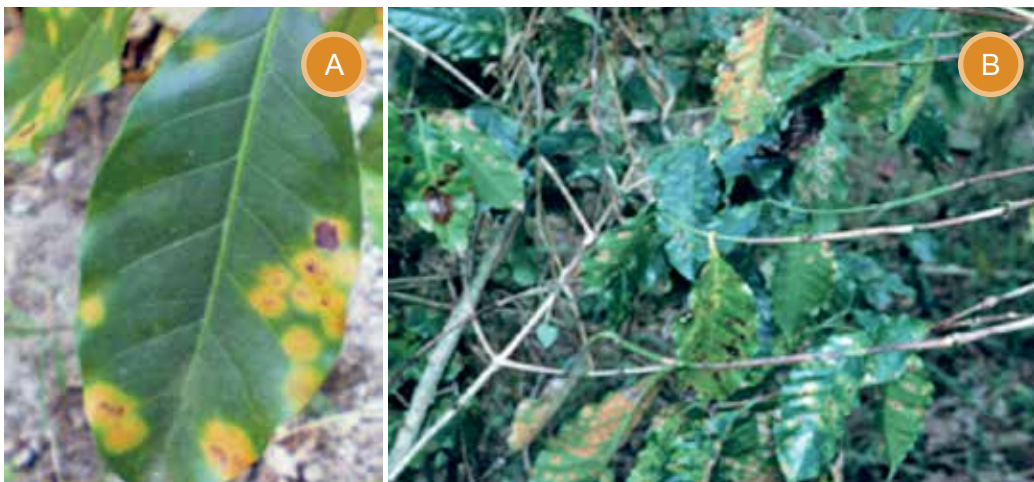


Figura 2. A. Lesiones de roya del café concentradas en el margen de las hojas
B. Bandolas (ramas plagiotrópicas) defoliadas (Fuente: Arneson 2011)

H. vastatrix es un organismo biótrofo (parásito que se alimenta de las células vivas), también conocido como un parásito obligado que parasita las hojas del género *Coffea*; es decir que se alimenta y completa su ciclo de vida en células vivas (Avelino et al. 1999, Zuluaga y Céspedes 2009). De las especies cultivadas de café, la más atacada es *C. arabica* (Avelino y Rivas 2013). No se conocen reportes que indiquen que el hongo sobreviva en el suelo o tejido vegetal muerto. Las estructuras reproductivas del hongo son las uredosporas (reproducción sexual), que constituyen su medio de reproducción y dispersión; estas son de forma arriñonada, rugosas en su mitad superior y lisas ventralmente (Coutinho et al. 1995, Fernández et al. 2009).

Rajendren (1967) fue el primero en observar que la uredospora podía albergar un proceso de meiosis, lo cual fue comprobado recientemente. Esta reproducción sexual escondida fue denominada criptosexualidad (Carvalho et al. 2011).

2.3 Ciclo de vida del hongo y desarrollo en la planta de café

El ciclo del hongo *Hemileia* inicia con el proceso de liberación y deposición de la espora en la hoja de café; posteriormente, la espora germina y se inicia el proceso de infección (Avelino y Rivas 2013). Recién en la tercera etapa se presentan los síntomas de la enfermedad, cuando aparecen las manchas de color amarillo pálido en el envés de las hojas que, con el tiempo, aumentan de tamaño y se unen formando las características manchas amarillas o anaranjadas con polvo fino amarillo que produce las nuevas esporas del hongo (Rivillas et al. 2011). Según Barquero Miranda (2013), el tiempo entre la germinación de la espora, penetración a los tejidos internos de la hoja e inicio de la producción de esporas oscila entre 20 a 40 días. Además, señala que entre más favorables sean las condiciones de temperatura y permanencia de agua sobre la hoja menor será el tiempo para completar el ciclo reproductivo del hongo.

Para la germinación de las esporas se requiere de la presencia de agua libre por al menos durante seis horas, temperaturas entre 21-25 °C y condiciones de oscuridad (Sagarpa 2013, Avelino y Rivas 2013). Para formarse el apresorio (modificación de las hifas para la infección de una célula epidérmica del huésped) se requiere de un periodo de entre 5,3 y 8,5 horas. La germinación se inhibe con la presencia de luz y falta de agua entre 24 y 48 horas (Avelino y Rivas 2013); cuando se evapora o se reduce la disponibilidad de agua en la hoja se detiene el proceso de germinación, ya que afecta el crecimiento de los tubos germinativos de las esporas (Sagarpa 2013). Luego de germinar, el hongo penetra en las hojas a través de los estomas (aberturas naturales usadas por las plantas para respiración y transpiración) situados en el envés de las hojas maduras (Rayner 1961). Una vez que ha penetrado al interior de la hoja, el hongo desarrolla unas estructuras denominadas haustorios, los cuales entran en contacto con las células

de la planta para extraer los nutrientes necesarios para su crecimiento. Avelino y Rivas (2013) señalan que la concentración óptima de espora del hongo para que se produzca la infección debe ser de 15-30 esporas por centímetro cuadrado; si las esporas están demasiado dispersas no se produce la infección.

Transcurridos 30 días después de la colonización, el hongo está lo suficientemente maduro para diferenciarse en estructuras llamadas soros, que son las encargadas de producir nuevas uredosporas. El tiempo transcurrido desde la infección hasta la producción de esporas se denomina periodo de latencia. En Costa Rica se ha determinado que el ciclo del vida del hongo es de alrededor de 30 días, por lo que considerando los periodos de precipitación, la roya del café puede completar entre seis y ocho ciclos dependiendo de la región (Barquero Miranda 2013). Rivillas et al. (2011), señalan que en la zona cafetalera de Colombia, el periodo de latencia puede fluctuar entre 34 y 37 días al sol, mientras en condiciones de sombra oscila entre 31 y 35 días. Avelino y Rivas (2013) representan el ciclo de vida del hongo y los factores que lo afectan en un diagrama de flujo en el cual señalan las condiciones que pueden favorecer o inhibir el desarrollo de la enfermedad (Figura 3.).

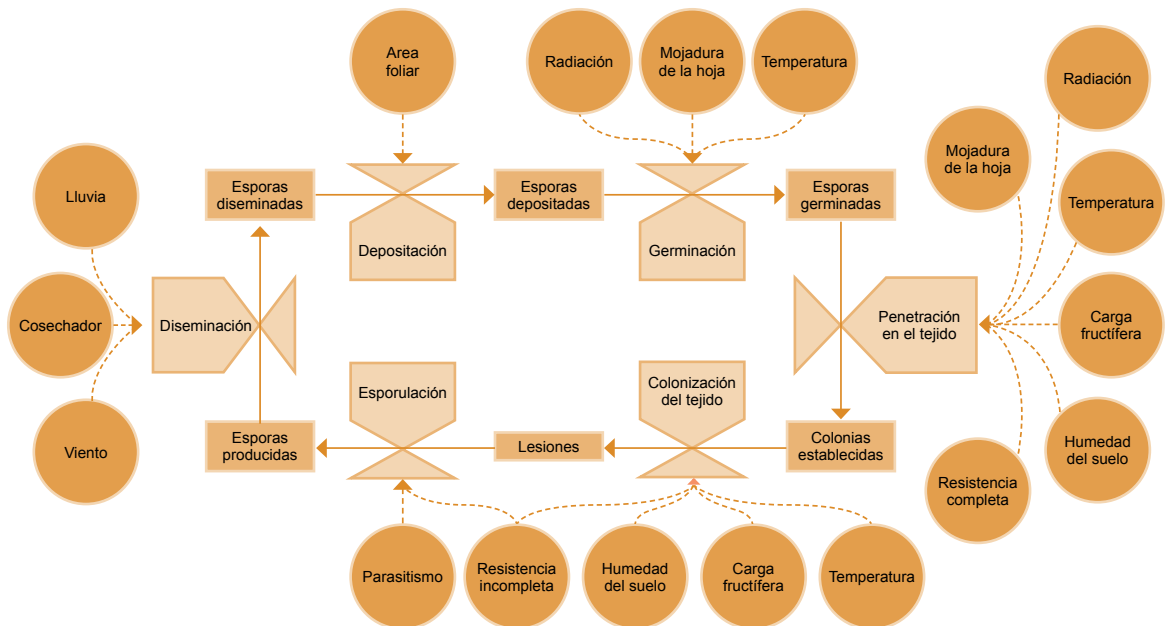


Figura 3. Diagrama del ciclo de vida de *Hemileia vastatrix* (líneas continuas) y factores que lo afectan (líneas discontinuas)
Tomado de (Avelino y Rivas 2013).

El ciclo de vida de la roya del café por lo general cubre 30 días, transcurrido el 75% de este tiempo (24 días), se inicia la formación de manchas de color amarillo pálido traslúcidas. Los signos típicos de la enfermedad son las esporas de color anaranjado, que se hacen visibles a partir del día 27 del ciclo, cuando ha transcurrido el 90% del tiempo. Una vez que se inicia la formación de las esporas en las lesiones o manchas de roya, la producción se mantiene activa mientras la hoja permanezca adherida a la planta, lo cual puede prolongarse por varios meses. Otro aspecto a considerar es la sobrevivencia del inoculo de un año a otro ya que juega un rol muy significativo en la dinámica de las epidemias. Plantaciones que sufrieron ataques moderados o leves de la enfermedad, tendrán mayor cantidad de hojas con lesiones de roya que persistirán en la planta durante la época seca, e iniciarán la esporulación con el inicio de las lluvias. En consecuencia, aumentan las posibilidades de infecciones en hojas nuevas de forma anticipada a lo usual, si no se aplican las medidas de protección necesarias para estos tejidos (Avelino y Rivas 2013, Barquero Miranda 2013).

2.4. ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?

Para la sesión con productores y productoras es conveniente tomar en cuenta el momento fenológico de la planta, las condiciones del clima y la presencia del hongo. Si la sesión de capacitación/observación tiene lugar a inicios de la época lluviosa, se podrán observar las lesiones producidas por la roya del café durante el ciclo anterior, las cuales son la fuente de inóculo para el próximo ciclo de producción. Si la sesión se realiza ya avanzado el periodo de lluvias, se deben buscar hojas con lesiones avanzadas de la enfermedad.

Las actividades sugeridas para la sesión son:

- Prepare hojas de café que presenten desde los primeros síntomas; es decir desde que comienzan a aparecer las primeras lesiones amarillo pálido hasta hojas con lesiones de roya del café bien esporuladas.
- Explique el ciclo de vida del hongo, desde la liberación de las esporas hasta cuando la espóra ha infectado la hoja y se observan las manchas de color amarillo pálido. Deje en claro que cuando se presentan los primeros puntos amarillos ya la espóra germinó y penetró en el tejido de la hoja y se está alimentando de la planta; este proceso se inició al menos 24 días antes.
- Es muy necesario que los productores y productoras conozcan la puerta de entrada al hongo. Para explicarlo, prepare una lámina con dibujos o fotografías que le permitan mostrar los estomas que se encuentran en el envés de la hoja. Esta herramienta ayuda a explicar las estructuras de la hoja y los procesos que no se observan a simple vista.
- Asegúrese de detallar las condiciones de temperatura, luz y humedad que requiere el hongo para desarrollar su ciclo de vida en la planta.

- Introduzca el concepto de ‘parásito obligado’; es decir un hongo que desarrolla todo su ciclo de vida en una planta viva y no puede sobrevivir en otros lugares, como el suelo. Esto quiere decir que cuando las hojas infectadas caen al suelo, después de unos días se secan y el hongo muere. Generalmente el hongo permanece en hojas viejas adheridas a la planta de café.
- Prepare una lámina con el diagrama propuesto por Avelino y Rivas (2013) para explicar el ciclo del hongo en la planta de café y en el cafetal. Resalte los factores que inciden en el desarrollo de la enfermedad; por ejemplo, ¿Cuáles son las condiciones de temperatura, luminosidad y radiación solar que favorecen el desarrollo del hongo? ¿Cuáles otras condiciones son favorables? ¿Cuáles condiciones son desfavorables?

Bibliografía consultada

- Arneson, PA. 2000. Coffee rust. The Plant Health Instructor (Updated 2011). DOI: 10.1094/PHI-I-2000-0718-02. <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/CoffeeRust.aspx>
- Avelino, J; Muller, RM; Eskes, AB; Santacreo, R; Holguín, F. 1999. La roya anaranjada del café: mito o realidad. In Bertrand, B; Rapidel, B. (Eds.). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica, IICA, Promecafé, CIRAD. p. 193-241.
- Avelino, J; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del café. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>.
- Barquero Miranda, M. 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del café. 3 ed. San José, Costa Rica, Icafé. 63 p.
- Carvalho, CR; Fernandes, RC; Carvalho, GMA; Barreto, RW; Evans, HC. 2011. *Cryptosexuality and the genetic diversity paradox in coffee rust, Hemileia vastatrix*. PLoS One. 6(11): e26387.
- Coutinho, TA; Rijkenberg, FHJ; Asch, MAJ. 1995. Teliospores of *Hemileia vastatrix*. Mycological research (8): 932-934. 10.1016/S0953-7562(09)80751-X
- Fernandes, R de C; Evans, HC; Barreto, RW. 2009. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. Tropical Plant Pathology (2): 108-113.
- Rajendren, RB. 1967. A new type of nuclear life cycle in *Hemileia vastatrix*. Mycologia 59(2): 279-285.
- Rayner RW. 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.). Annals of Applied Biology 49: 497-505.
- Rivillas, OC; Serna, GC; Cristancho, AM; Gaitán, BA. 2011. La roya del café en Colombia (Impacto, manejos y costos del control, resultados de investigación). Chinchiná, Caldas, Colombia, Cenicafé. 53 p.
- Sagarpa (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, MX). 2013. Ficha técnica roya del café *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. México, Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. 28 p.
- Zuluaga, CM; Céspedes, PB. 2009. Generalidades de los uredinales (Fungi: Basidiomycota) y de sus relaciones filogenéticas. Fundamentals of rust fungi (Fungi: Basidiomycota) and their phylogentic relationships. Acta biol. colomb (1): 41-56.

Capítulo 3. ¿Qué sabemos sobre las razas de roya del café?



Foto: Shirley Orozco

La roya del café, producida por el hongo *H. vastatrix*, es la principal y más desbastadora enfermedad que ataca al árbol de café y produce pérdidas que fácilmente pueden alcanzar el 30% de la producción (Cristancho et al. 2012); si los controles no son adecuados y oportunos en función de las condiciones de clima, las pérdidas pueden ser aún mayores.

En 1917, se encontró un híbrido natural producto del cruce entre *C. arabica* y *C. canephora*, en la isla de Timor, el cual recibió el nombre de ‘híbrido de Timor’, con las características morfológicas y agronómicas de *C. arabica* y la resistencia a la enfermedad de *C. canephora*. El híbrido ha sido utilizado en los programas de mejoramiento genético para desarrollar variedades resistentes a la roya del café (Cristancho-Ardila et al. 2007).

En 1955 se estableció el Centro de Investigación de la Roya del Café (CIFC por sus siglas en portugués) para el estudio de la roya del café y el desarrollo de variedades resistentes. El CIFC ha caracterizado más de 50 razas de roya a partir de 3500 muestras recolectadas en los diferentes países productores de café (Barquero Miranda 2013, Várzea 2013). La mayor diversidad de razas se encuentra en países de Asia –principalmente en la India– mientras que en América predomina la raza II (Várzea 2013).

Los estudios realizados con *H. vastatrix* han permitido demostrar que el hongo ha evolucionado y desarrollado variantes genéticas (razas del hongo). Las razas del hongo atacan de forma diferenciada a las especies y variedades de café, dependiendo de los genes de resistencia de la planta y de los genes de virulencia del hongo (Cristancho 2011).

3.1 Acción y reacción ante el ataque de la roya anaranjada

Actualmente, las regiones cafetaleras libres de roya del café son Australia y Hawái; en el resto de las regiones productoras en el mundo existe la enfermedad y el número de razas presentes es variable.

India es el país donde se encuentra el mayor número de razas de roya del café y las más virulentas, según prospecciones realizadas por el CIFC. Por ejemplo, dos descendencias del híbrido de Timor que inicialmente fueron resistentes a la enfermedad se tornaron susceptibles debido a la evolución del patógeno, el cual ha logrado vencer la resistencia de los cafetos en el transcurso de los años (Várzea 2013):

Aislamiento **CIFC 3302** (v1,2,4,5,6,7,8,9, ?) – HDT 832/1

Aislamiento **CIFC 3305** (v1,2,4,5,6,7,8,9, ?) – HDT 832/2

Una de las grandes interrogantes es por qué en la India se encuentran la mayoría de las razas de roya del café y las más virulentas. Parte de la respuesta obedece a que en este país se han cultivado variedades de café resistentes a la enfermedad desde hace muchos años, lo cual ha inducido a que el hongo, en su proceso de evolución, produzca mutaciones (modificaciones genéticas naturales) que le permiten desarrollar nuevos grupos fisiológicos (nuevas razas) para infectar las plantas de las variedades resistentes. La relación entre el hospedero (la planta) y el patógeno, fundamentado por la teoría de gen a gen que se abordará más adelante.

El patógeno, en su lucha por la supervivencia, inicia el proceso de adaptación a las nuevas condiciones y evoluciona para atacar a las variedades resistentes y así continuar con su ciclo de vida (Várzea 2013). Por su parte, los investigadores se esfuerzan para desarrollar nuevas variedades resistentes al hongo.

3.1.1 Razas de roya anaranjada presentes en el continente americano

Según estudios realizados, al continente americano llegó, en el año de 1970, la raza II del hongo, la cual se diseminó rápidamente a las regiones productoras de café en el sur de Brasil. Los programas de mejoramiento genético de café en Brasil produjeron variedades que incorporaban genes de resistencia a la enfermedad, producto del cruce de variedades como Caturra y Catuaí con descendencias del híbrido de Timor –por ejemplo la variedad Icatú–. Con el paso de los años, las variedades comenzaron a presentar pérdida de resistencia a la roya del café.

En la década del 2000, en Brasil se identificaron 15 razas fisiológicas de la roya anaranjada: I, II, III, VII, X, XIII, XV, XVI, XVII, XXI, XXIII, XXIV, XXV, XXXI y XXXVII, pero la raza II seguía siendo la de más amplia distribución (Zambolim et al. 2005, Cabral et al. 2009). En el 2007, Capucho et al. (2012) recolectaron 64 muestras de roya del café en las diferentes regiones productoras en Brasil. Ellos detectaron la presencia de las razas I, II, III, XV, XXII y XXXIII de roya del café; sin embargo, la raza II estuvo presente en 68,7% de las muestras, en tanto que las razas I, III, XV y XXII estuvieron presentes en seis, cuatro, una y dos muestras respectivamente. La raza XXXIII fue reportada por primera vez y caracterizada en siete muestras colectadas en varias regiones en el sur del estado de Minas Gerais.

En Colombia, los estudios realizados al llegar la roya del café en 1983 reportaron a la raza II como responsable de la afectación a la variedad Caturra. Posteriormente, Cristancho et al. (2007) identificaron cuatro razas de genotipos complejos, así como la raza XXII y evidencia de presencia de las razas XVII, XXIII, XXV y XXX en materiales derivados del híbrido de Timor. En Colombia se han reportado más de diez razas de roya. Después de la severa epidemia entre 2008 y 2011, con pérdidas superiores al 30% de la producción, se realizó un estudio molecular para determinar si se presentaban nuevas razas de la enfermedad. El estudio reveló que la raza II y sus derivados prevalecen en el país (Castro Caicedo et al. 2013, Cristancho et al. 2007).

Cristancho et al. (2007) indican que las plantas diferenciales que disponen no han permitido la identificación de nuevas razas de la roya del café en Colombia, en materiales derivados del híbrido de Timor. Sin embargo, estiman que deben existir más de diez razas que atacan a estas plantas derivadas en el país.

Brasil y Colombia son los países que más investigación han realizado sobre la roya del café y los que han reportado la presencia de nuevas razas del hongo. En el transcurso de los años, los institutos de investigación de estos países han producido nuevas variedades resistentes a la enfermedad a partir de al menos un progenitor del híbrido de Timor que le confiere la resistencia a la roya del café raza II. Sin embargo, el hongo *H. vastatrix* ha evolucionado para adaptarse y afectar a las nuevas variedades.

La roya del café no presenta diferencias en cuanto a los síntomas y signos que producen las razas del hongo a nivel de la planta. Para determinar la presencia de nuevas razas de roya es necesario tomar muestras y enviarlas al CIFC en Portugal, donde se realizan los análisis en plantas de café que se denominan cafés diferenciales; es decir que reaccionan de maneras diferentes ante las distintas razas de roya.

3.1.2 Evolución de razas de roya anaranjada en el Centroamérica

Desde el ingreso de la roya del café a Nicaragua en 1976 y su posterior dispersión por los países de Centroamérica, las muestras de roya enviadas al CIFC en 1977, 1984, 1992, 1993 y 1994 originarias de Nicaragua, Honduras, Guatemala y Costa Rica, fueron identificadas como muestras de la raza II.

En el 2013, los análisis realizados por el CIFC de muestras de roya del café recolectadas en Costa Rica revelaron la presencia de las razas XXIV (v2, 4 y 5) y XXXVI (v2, 4, 5 y 8) (Várzea 2013).

En Centroamérica, la presencia de nuevas razas de roya del café es limitada. Quizás este comportamiento se explica porque en la región la mayor parte del área sembrada de café contiene variedades susceptibles a la raza II, lo que ha inducido a una menor evolución del hongo. En 1997 se presentó una nueva raza en Honduras (raza I; v2 y 5) en muestras recolectadas en la región del lago de Yojoa; esta misma raza fue reportada posteriormente en El Salvador (Avelino et al. 1999). En el año 2012 se reportó la presencia en Costa Rica de dos nuevas razas (XXIV; v2, 4 y 5 y XXXVI; v2, 4, 5 y 8) lo que implica que el hongo está evolucionando, o que estas razas fueron introducidas. Los institutos de café debieran realizar monitoreos frecuentes para determinar el grado de diseminación en las áreas cafetaleras y si estas nuevas razas están parasitando a las variedades de café con resistencia a la roya, como los catimores y sarchimores actualmente en producción. También debe evaluarse la futura respuesta de las nuevas variedades que se encuentran en fase de investigación y posterior liberación.

3.2 Genes de resistencia del café y virulencia de la roya

Desde hace ya algunos años se ha venido trabajando en la resistencia a la roya por parte de las plantas de café. Actualmente se conocen nueve genes responsables de la resistencia a la roya del café, los cuales se denominan con la sigla SH y un número que corresponde al gen. Diversos investigadores señalan que en las especies de café se encuentran genes de resistencia a la enfermedad; Bettencourt y Noronha-Wagner (1971) reportan que los genes de resistencia SH1, SH2, SH4 y SH5 provienen de la especie *C. arabica*; los genes SH6, SH7, SH8, SH9 provienen de la especie *C. canephora*, mientras que el gen SH3 proviene de la especie *C. liberica*.

Por su parte, el hongo de la roya del café contiene genes de virulencia, denominados con la letra v y un número. Se ha encontrado que para cada gen de resistencia SH en el árbol de café, hay un gen de virulencia v; esto se conoce como la relación gen-gen (Avelino y Rivas 2013).

Las variedades de *C. arabica*, como Bourbon, Typica, Caturra, Catuaí y Pacas contienen los genes de resistencia SH1, SH2, SH4 y SH5, los cuales pueden estar en diferentes combinaciones aun no identificadas completamente. Lo que sí se conoce es que estas variedades son susceptibles a la raza II de la roya anaranjada, la cual contiene el gen de virulencia v5; las variedades mencionadas contienen el gen de resistencia SH5, lo que explica por qué son susceptibles a la enfermedad. A medida que la combinación de genes de resistencia presentes en las variedades de café se incrementa, las razas de la roya van desarrollando más genes de virulencia que al cabo del tiempo logran atacar a los cafés, lo que se conoce como quiebra de la resistencia; es decir que el hongo evoluciona y logra infectar los árboles de café que originalmente eran resistentes.

El híbrido natural entre *C. arabica* y *C. canephora* hallado en la isla de Timor en 1917 abrió la posibilidad de incorporar nuevos genes de resistencia a la roya del café. Este híbrido incorporó cuatro genes de resistencia que provienen de *C. canephora* (SH6, SH7, SH8 y SH9). Las descendencias 832, 1343 y 2570 del híbrido de Timor heredaron los genes de resistencia de *C. canephora*; en consecuencia, las variedades desarrolladas a partir del cruce con las variedades Caturra, Villa Sarchí y Catuaí –conocidas como catimores, sarchimores y cavimores respectivamente– contienen ocho genes de resistencia: cuatro heredados de *C. arabica* y cuatro de *C. canephora*. Esto ha abierto nuevas posibilidades para obtener una resistencia más duradera contra la roya del café (Castro Caicedo et al. 2013).

Sin embargo, ya se ha demostrado que, con el paso del tiempo, las descendencias del híbrido de Timor se vuelven susceptibles al ataque del patógeno. En la India, por ejemplo, dos descendencias anteriormente inmunes, perdieron su resistencia (Várzea 2013). Otras investigaciones en Brasil han demostrado cómo variedades resistentes desarrolladas por los programas de mejoramiento genético ya han comenzado a presentar la enfermedad (Hiroshi Sera et al. 2009).

El trabajo de mejoramiento genético para producir nuevas variedades resistentes a la enfermedad se convierte en un trabajo continuo. Los investigadores buscan de manera permanente nuevas fuentes de resistencia que permitan poner en manos de los productores variedades con mayor resistencia a la enfermedad que retrasen el avance o, por lo menos, minimicen los estragos que provoca cuando se presenta como una epidemia. Para ello se deben emplear estrategias que combinen materiales resistentes, por una parte, y aplicar medidas de prevención y control adecuados y oportunos.

3.3 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?

La sesión se inicia con una charla demostrativa para explicar y dar a conocer las variedades de café cultivadas en la zona. Se deben detallar las diferencias entre las variedades antiguas, como Typica, Borbón y Mundo Novo (variedades de porte alto todavía cultivadas en El Salvador, Honduras y Guatemala y en menor proporción en Costa Rica y Nicaragua), en comparación con variedades más nuevas, como Caturra y Catuaí (variedades de porte bajo que introdujeron cambios significativos en la caficultura centroamericana).

Para desarrollar una sesión con productores y productoras se sugiere que el personal técnico y/o promotores utilicen la información contenida en el capítulo para preparar una síntesis de la información.

- Deje en claro que las variedades de café que se cultivan en el país son susceptibles a la roya del café. Explique la aparición del híbrido de Timor (un híbrido natural producto del cruce de *C. arabica* y *C. canephora* o café robusta). Se recomienda mostrar fotografías de café robusta pues muchos productores no lo conocen. Explique que este híbrido incorpora genes de resistencia de ambos padres, lo cual le confiere mayor resistencia contra la enfermedad. El cruce del híbrido de Timor con variedades como Caturra o Catuaí genera variedades más resistentes a la enfermedad; por ejemplo, las catimores (mencionar ejemplos de variedades catimores: CR95, Mida 96, Ihcafé 90, Lempira 98, Anacafé-14, Catrenic).
- Se recomienda ubicar, en cada zona, alguna finca o colecciones donde haya diferentes variedades de café para observar su respuesta al ataque de la roya.
- Lleve a la sesión muestras de hoja infectadas con roya del café para explicar los aspectos relacionados con las razas de roya. Indique que la raza de roya más ampliamente distribuida en la región es la raza II, sin embargo, se ha reportado la presencia de otras razas en Honduras y El Salvador (raza I) y Costa Rica (razas XXIV (v2, v4, v5) y XXXVI (v2, v4, v5 y v8)).
- Deje en claro que, a simple vista, no es posible determinar la raza de roya. Esta determinación solo es posible en condiciones controladas en estaciones experimentales. Se utilizan plantas de café conocidas como “café diferenciales”. Se trata de plantas que son susceptibles a una raza específica de roya; entonces, solo se enferman cuando las ataca esa raza

en particular. Los cafés diferenciales no está disponibles para todo el mundo ni es cualquier persona la que puede hacer las pruebas. En las estaciones experimentales hay científicos y personal especializado de mucha experiencia que se encargan de estas labores.

- Asegúrese de que las personas participantes reciban un mensaje muy claro: la roya del café no es un hongo estático; por el contrario, es un hongo que está en constante evolución por lo que es recomendable plantar nuevas variedades de café con resistencia a la enfermedad. Una mayor diversidad de cafetos hará más difícil la evolución del hongo que, al no encontrar una masa homogénea de plantas de una misma variedad de café, perderá fuerza para continuar su ciclo de vida. El manejo que integra diferentes prácticas de prevención y control debe ser constante.

Bibliografía consultada

- Avelino, J; Muller, RM; Eskes, AB; Santacreo, R; Holguín, F. 1999. La roya anaranjada del café: mito o realidad. *In* Bertrand, B; Rapidel, B. (Eds.). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica, IICA, Promecafé, CIRAD. p. 193-241.
- Avelino, J; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del café. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>.
- Barquero Miranda, M. 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del café. 3 ed. San José, Costa Rica, Icafé. 63 p.
- Bettencourt, AJ; Noronha-Wagner, M. 1971. Genetic factors conditioning resistance of *Coffea arabica* L. to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Agronomia Lusitana* 31: 285-292.
- Cabral, PGC; Zambolim, EM; Zambolim, L; Lelis, TP; Capucho, AS; Caixeta, ET. 2009. Identification of a new race of *Hemileia vastatrix* in Brazil. *Australasian Plant Dis. Notes* 4: 129–130.
- Capucho, AS; Zambolim, EM; Freitas, RL; Haddad, F; Caixeta, ET; Zambolim, L. 2012. Identification of race XXXIII of *Hemileia vastatrix* on *Coffea arabica* Catimor derivatives in Brazil. *Australasian Plant Dis. Notes* 7:189–191. DOI 10.1007/s13314-012-0081-7
- Castro Caicedo, BL; Cortina Guerrero, HA; Rouxl, J; Wingfield, MJ. 2013. New coffee (*Coffea arabica*) genotypes derived from *Coffea canephora* exhibiting high levels of resistance to leaf rust and Ceratocystis canker. *Tropical Plant Pathology* 38(6): 485-494.
- Cristancho-Ardila, MA; Escobar-Ochoa, C; Ocampo-Muñoz, JD. 2007. Evolución de razas de *Hemileia vastatrix* en Colombia. *Cenicafé* 58(4): 340-359.
- Cristancho, M. 2011. CENIcafé, Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura colombiana; foros. <http://www.cenicafe.org/es/index.php/forums/viewthread/15/#34>
- Cristancho, M; Roza, Y; Escobar, C; Rivillas, CA; Gaitán, AL. 2012. Outbreak of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Colombia. *New Disease Reports* 25: 19.
- Cosecha de café caería 18% en 2014 por secuela de la roya amarilla. 2013. *El Comercio*, Lima, PE. <http://elcomercio.pe/economia/peru/cosecha-cafe-caeria-18-2014-secuela-roya-amarilla-noticia-1675906> s.
- Hiroshi Sera, G; Sera, T; Batista Fonseca, IC de; Shiguer Ito, D. 2009. Resistance to leaf rust in coffee cultivars. *Coffee Science* 5(1): 59-66.

- Imaña, G. 2014. Las lluvias golpean la producción y la exportación de café boliviano. La Razón (edición impresa), La Paz, BO; ago. 24. http://www.la-razon.com/index.php?url=/suplementos/financiero/lluvias-golpean-produccion-exportacion-boliviano-financiero_0_2111788944.html
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, EC). 2013. MAGAP declaró estado de emergencia para controlar la roya del café. <http://www.agricultura.gob.ec/magap-decreto-estado-de-emergencia-para-controlar-la-roya-del-cafe/>
- Mentado, P. 2014. Plaga de la roya afecta al 16% de la producción de café. El Universal Uno TV. Disponible en: <http://www.unioncancun.mx/articulo/2014/06/18/economia/plaga-de-la-roya-afecta-al-16-de-la-produccion-de-cafe>
- Várzea, V. 2013. Avances del conocimiento sobre las razas de roya del café, con énfasis en la caficultura de Latinoamérica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Presentación power point.
- Von Hesse, M. 2013. Se destinarán S/. 100 millones para atender los efectos de la roya en cultivos de café. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura y Riego. <http://www.minag.gob.pe/portal/plan-nacional-contra-la-roya-amarilla/notas/9224-ministro-milton-von-hesse>
- Zambolim, L; Maciel-Zambolim, E; Vale, FXR; Pereira, AA; Sakiyama, NS; Caixeta, ET. 2005. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil: Physiological variability, current situation and future prospects. In Zambolim, L; Zambolim, EM; Várzea, VMP (Eds.). Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa, Brazil, Universidade Federal de Viçosa. p. 75–98.

Capítulo 4. Factores ambientales que influyen en la roya del café



Foto: Silvia Chaves

En este capítulo se abordarán los principales factores ambientales que tienen influencia positiva o negativa en el ciclo de vida del hongo que causa la roya del café. La información bibliográfica consultada coincide en que los factores relacionados con la temperatura, precipitación, humedad relativa, mojadura de la hoja, rocío y radiación solar se relacionan estrechamente con el desarrollo de la enfermedad y las funciones básicas del cultivo (mantenimiento, crecimiento y producción). Por ello, analizaremos los resultados de investigaciones recientes que pretenden explicar cómo influyen estos factores en el comportamiento de la enfermedad en cafetales a plena exposición solar y bajo sombra en sistemas agroforestales.

Para que el cultivo de café pueda desarrollarse es necesario que las regiones agroecológicas donde se cultiva reúnan condiciones mínimas para que pueda realizar sus funciones vitales. La más importante es la precipitación anual, que debe estar entre 1200 y 2000 mm por año. El ciclo de períodos lluviosos y secos es importante para el crecimiento, brote de follaje nuevo, floración y fructificación del cafeto. La cantidad y distribución de la lluvia necesaria para el cafeto depende de las propiedades de retención de humedad del suelo, la humedad atmosférica, la nubosidad y también de las prácticas de manejo del cultivo (Fischersworing y Robkamp 2001).

El café bajo sombra representa 74,4% de la caficultura del territorio centroamericano. Según Castro et al. (2004), este sistema de cultivo es compatible con el ambiente, la diversificación forestal y el ecoturismo, con los que se refuerza mutuamente para contribuir a la sostenibilidad agrícola. La sombra propicia condiciones de microclima (humedad relativa, temperatura, luminosidad) óptimas para el cultivo del café que, sin embargo, pueden ser igualmente favorables para el proceso de infección y desarrollo de la roya si no se tiene un buen diseño y manejo de la sombra y del cafetal.

Los efectos de la sombra sobre la roya del café son controvertidos. Algunos autores aseguran que la infestación es más alta bajo sombra que al sol (Machado y Matiello 1983, Staver et al. 2001, Avelino et al. 2004, Avelino et al. 2006), en tanto que otros afirman lo contrario (Soto-Pinto et al. 2002). Avelino et al. (2004, 2006) sugieren que los diferentes resultados obtenidos podrían explicarse por diferencias de cargas fructíferas.

A continuación analizaremos la influencia de los factores ambientales en la aparición y desarrollo del hongo que causa la roya del café en plantaciones bajo sombra y a pleno sol.

4.1 Temperatura y altitud

La temperatura está definida por la latitud y la altitud sobre el nivel del mar, aunque otros factores inciden en la temperatura, como la época del año y la nubosidad. Asimismo, la temperatura de un lugar está en función de dónde se registre: a plena exposición o bajo sombra. Este aspecto es determinante para entender el efecto de la temperatura en el desarrollo del hongo en cafetales con o sin sombra.

Las diferencias entre la temperatura ambiente en el cultivo y la temperatura de la hoja dependen principalmente de la cantidad de radiación solar que incide sobre las plantas durante el día. Con tiempo cálido y seco se presentan mayores diferencias; con tiempo lluvioso y frío, las temperaturas del ambiente y de la hoja tienden a igualarse (Jaramillo y Gómez 1989). Según Orozco y Jaramillo (1978), las diferencias entre la temperatura de la hoja y la del aire dependen de la especie y del contenido de agua de la hoja. En *C. canephora*, las diferencias son mayores (1 a 3 °C) con respecto a *C. arabica*, lo que podría explicarse por las diferencias morfológicas, anatómicas y fisiológicas entre los tipos de hojas (área foliar, grosor de lámina, contenido de clorofila, tasa de transpiración, cantidad de agua en la hoja e intercambio de calor) (Zahner 1968).

La temperatura óptima para el desarrollo de la roya del cafeto es de 22-23 °C, la cual favorece el proceso de germinación de la uredospora, la penetración a los tejidos y colonización de la hoja. El periodo de incubación de *H. vastatrix* se acorta en los meses con temperaturas favorables para la germinación. En un estudio realizado en Honduras, Santacreo et al. (1983) mostraron que, a 750 msnm, los periodos de latencia del hongo fluctuaron entre 29 y 62 días entre febrero 1982 y enero 1983; los periodos más cortos se observaron en agosto y septiembre, meses en que la temperatura se mantuvo entre 18 y 27 °C. A una altitud de 1200 msnm, los periodos de latencia se prolongaron entre 40 y 80 días debido a las temperaturas más bajas.

Durante el día, las ramas y hojas del cafeto están más calientes que el aire de la plantación y más frías durante la noche (remoción de calor por convección y evaporación foliar insuficiente para equiparar su temperatura con la del aire). La temperatura mínima del aire se presenta después de la mínima de las hojas y de las ramas (unos 15 minutos después); las ramas presentan un calentamiento y enfriamiento intermedio entre la hojas y el aire de la plantación. Entre más cercana esté la temperatura a los 22 °C más probable es que se desarrolle la roya del café. La temperatura de los frutos fue similar a la registrada por las ramas (Jaramillo-Robledo y Gómez-Gómez 1989).

El comportamiento turbulento del viento dentro del cafetal depende de la velocidad del viento, la arquitectura de los árboles, el índice de área foliar, la distancia de siembra, las prácticas del cultivo y la orientación de los surcos. La velocidad del viento tiende a aumentar con la altura en

forma logarítmica, debido a la disminución de la rugosidad de la superficie de la hoja y la menor fricción; este factor contribuye a la dispersión de las uredosporas del hongo.

En café asociado con árboles, las variaciones diarias del microclima (temperatura y humedad) son menores que a pleno sol debido a la disminución de la incidencia de radiación solar por la sombra (Jaramillo-Robledo y Gómez-Gómez 1989). También se reducen las diferencias entre temperaturas mínimas y máximas diarias y, probablemente, se incrementa la duración del tiempo que pasa mojada una hoja bajo sombra (Barradas y Fanjul 1986, Jaramillo-Robledo y Gómez-Gómez 1989, Caramori et al. 1996). Las temperaturas del aire en el interior de un cafetal bajo sombra difieren con la altura sobre el nivel del suelo: más frías en los niveles inferiores. Las mayores diferencias se encuentran entre la superficie del suelo y un metro de altura; estas diferencias son de hasta 4 °C en las horas de mayor radiación solar. Entre 2 y 4 m de altura, las diferencias en temperatura son más pequeñas, 1,0 a 1,5 °C. La temperatura del aire registrada a un metro de altura en medio de los árboles y dentro del follaje del cafeto es similar, aunque en las horas de mayor radiación en el interior del follaje la temperatura del aire tiende a ser menor (Jaramillo-Robledo 1976).

La evaporación dentro del cafetal con sombra es menor en 50% en relación a la registrada en una estación meteorológica, la velocidad del viento es inferior (1,5-3 km/h) en relación con los cafetales a pleno a sol (1,5-4 km/h). La mayor velocidad del viento proporciona condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad a pleno sol (Orozco y Jaramillo 1978).

Estudios realizados por López (2010) sobre la incidencia y severidad de la roya en el cultivo del café bajo tres condiciones de lluvia determinó que la mayor temperatura promedio del aire al sol alcanzó hasta 32 °C, mientras que en condiciones de sombra fue de 29 °C, entre las 10:00 am y 2:00 pm. Por la noche no se presentaron diferencias en cuanto a temperatura mínima entre plantas sembradas a pleno sol y bajo en sombra (Cuadro 1). En los dos años que tardó la investigación se determinó que las temperaturas son menos altas en los días con lluvia y más cercanas a la temperatura óptima para la germinación de la uredospora. En las horas de la mañana, las temperaturas fueron semejantes en las plantas expuestas a pleno sol y las plantas bajo sombra en días con lluvia (>5 mm), mientras que con precipitaciones menores a 5 mm las temperaturas fueron más altas a pleno sol. Para los días sin lluvia, en el mismo periodo, se encontraron diferencias hasta de 2 °C en horas del mediodía (12:13 pm) y la tarde (3:43 pm). El estudio demostró que la temperatura promedio del aire es mayor en cafetales al sol en los tres momentos del día evaluados y los dos periodos de evaluación (Cuadro 1). Se concluye, entonces, que el café bajo sombra alcanza temperaturas más cercanas a la óptima para el desarrollo de la roya anaranjada (López 2010).

Cuadro 1. Comparación de los parámetros evaluados en el 2008 y 2009, en tres horas diferentes, bajo tres condiciones de lluvia y dos condiciones de exposición solar (promedios y error estándar)

Horas	Ensayos	Condición	Temperatura aire*		Humedad relativa		Mojadura de la hoja	
			2008	2009	2008	2009	2009	
		Sin lluvia	26,26 ± 0,81	26,08 ± 0,37	81,22 ± 2,03	77,92 ± 1,30	30,00 ± 6,55	25,33 ± 5,42
	Café a pleno sol	<5 mm	24,76 ± 0,39	28,23 ± 0,41	84,92 ± 1,04	83,64 ± 1,00	45,55 ± 3,76	39,73 ± 4,43
8:43 am		>5 mm	24,35 ± 0,44	24,83 ± 0,28	88,39 ± 1,10	86,96 ± 0,93	62,76 ± 4,88	56,18 ± 5,00
		Sin lluvia	24,88 ± 0,75	24,25 ± 0,29	83,46 ± 2,41	81,76 ± 1,17	44,29 ± 12,44	78,00 ± 4,11
	Café con sombra	<5 mm	23,65 ± 0,35	25,81 ± 0,32	86,52 ± 1,06	86,88 ± 0,86	70,91 ± 4,93	87,57 ± 2,39
		>5 mm	23,45 ± 0,39	23,47 ± 0,21	88,10 ± 1,15	88,72 ± 0,84	81,38 ± 3,93	90,88 ± 2,23
		Sin lluvia	32,12 ± 0,61	31,10 ± 0,46	59,74 ± 1,36	66,49 ± 1,66	2,86 ± 1,94	3,13 ± 3,13
	Café a pleno sol	<5 mm	29,26 ± 0,41	30,56 ± 0,33	69,30 ± 1,42	69,00 ± 1,12	16,72 ± 4,31	11,20 ± 3,29
12:13 pm		>5 mm	26,90 ± 0,60	28,14 ± 0,44	80,09 ± 1,82	75,65 ± 1,52	45,86 ± 6,28	34,12 ± 5,45
		Sin lluvia	29,92 ± 0,57	28,22 ± 0,38	68,78 ± 0,99	75,31 ± 1,34	7,14 ± 3,98	39,38 ± 6,06
	Café con sombra	<5 mm	27,35 ± 0,36	27,58 ± 0,29	76,11 ± 1,11	78,04 ± 0,96	22,99 ± 4,47	57,07 ± 4,29
		>5 mm	25,60 ± 0,52	26,14 ± 0,36	84,01 ± 1,36	82,19 ± 1,19	53,45 ± 6,13	65,59 ± 4,64
		Sin lluvia	27,34 ± 0,44	27,52 ± 0,36	71,91 ± 1,73	75,69 ± 1,39	0,00 ± 0,00	3,13 ± 3,13
	Café a pleno sol	<5 mm	24,70 ± 0,25	26,52 ± 0,28	81,91 ± 0,87	79,47 ± 1,03	33,43 ± 5,18	36,80 ± 5,30
3:43 pm		>5 mm	23,21 ± 0,29	24,46 ± 0,28	89,20 ± 0,98	87,32 ± 1,02	72,76 ± 5,62	70,59 ± 5,17
		Sin lluvia	25,82 ± 0,34	26,00 ± 0,26	77,46 ± 1,13	81,61 ± 0,95	2,86 ± 2,86	46,88 ± 6,39
	Café con sombra	<5 mm	23,90 ± 0,22	25,17 ± 0,21	84,03 ± 0,71	84,57 ± 0,75	44,18 ± 5,47	68,00 ± 4,54
		>5 mm	22,69 ± 0,26	23,74 ± 0,22	89,99 ± 0,78	90,15 ± 0,77	77,59 ± 5,16	89,12 ± 3,42

* En el 2008 se evaluaron 14 días sin lluvia, 67 días con lluvias <5 mm y 58 días con lluvia > 5 mm. En el 2009 hubo 32 días sin lluvias, 74 días con lluvias <5 mm y 69 días con lluvias >5 mm.

Fuente: López (2010).

Se determinaron mayores temperaturas de la hoja bajo las condiciones de cultivo a pleno sol (34 °C) respecto a cultivo bajo sombra (29 °C) en condiciones de lluvia (Figura 1). Durante la noche no se presentaron diferencias en temperatura de la hoja en ambas condiciones de cultivo. La temperatura de la hoja parece presentar un comportamiento independiente de las condiciones de lluvia, sobre todo en condiciones de cultivo bajo sombra. Solo se observó una ligera disminución de la temperatura en horas de la tarde cuando hubo precipitaciones mayores a los 5 mm.

Los registros de la temperatura (Figura 1) muestran como la temperatura óptima para el desarrollo de la roya (22 a 23 °C) se presenta a partir de las 2:00 pm hasta las 11:00 am en la mañana siguiente que, junto con los factores de humedad relativa y oscuridad, son las condiciones ideales para el desarrollo de la enfermedad.

4.2 Precipitación y rocío

La precipitación ha sido uno de los factores ambientales más estudiados en relación con el desarrollo de la roya del café a través del tiempo. La disponibilidad de agua, también denominado balance hídrico, es otro factor que indirectamente influye en el desarrollo de la enfermedad, por su influencia en el crecimiento de la planta de café. La producción de follaje nuevo, el crecimiento

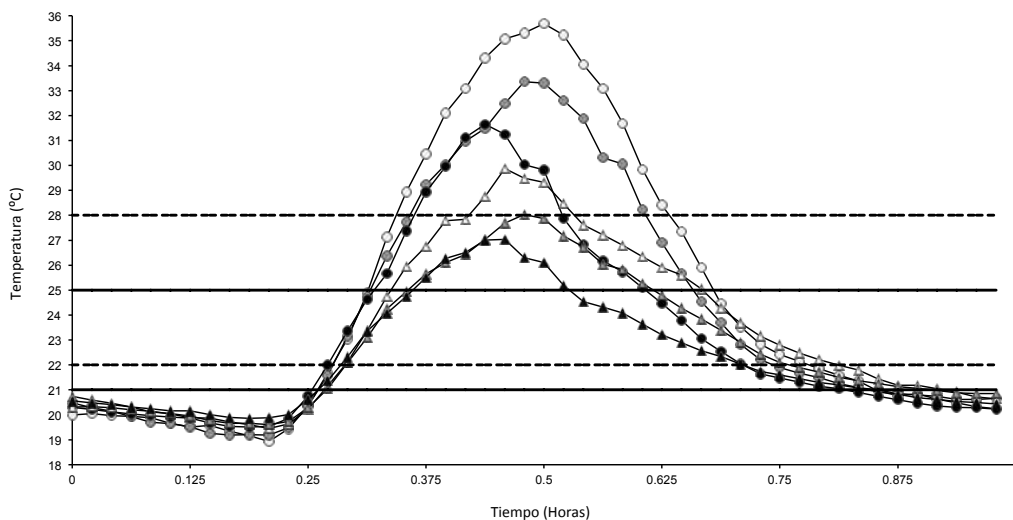


Figura 1. Variaciones en el día en la temperatura durante la temporada de lluvias, en diferentes condiciones de precipitación diaria (sin precipitaciones: blanco, ≤ 5 mm: gris, > 5 mm: negro) con la exposición a pleno sol (O) y bajo condiciones de sombra (Δ) durante el período 2009. Fuente: López B., 2010.

de las ramas, la floración y la maduración de los frutos se relacionan estrechamente con la disponibilidad de agua para la planta. Asimismo, la cantidad de hojas se relaciona con la mayor o menor incidencia de la enfermedad, en función de la cantidad de tejido susceptible y disponible para la infección (Subero 1970).

La precipitación es un factor muy importante en el desarrollo de una epidemia (incremento en la intensidad y severidad) de roya del cafeto. La precipitación actúa como factor determinante en la germinación y dispersión de las esporas e, indirectamente, sobre otros factores ambientales como la humedad relativa, la temperatura y la luminosidad. Cuando la intensidad y frecuencia de las lluvias exceden determinados niveles, el contagio tiende a bajar ya que la precipitación actúa a nivel de esporulación (diseminación y transporte), deposición, germinación y penetración de las uredosporas en las hojas. Esto explica por qué la epifitias se desarrolla durante la época de lluvias (Gálvez et al. 1982, Santacreo et al. 1983, Holguin 1985).

La sombra en el café intercepta parte de la lluvia (Imbach et al. 1989; Jaramillo-Robledo y Chaves-Córdoba 1998). Cuando la intensidad y duración de la lluvia es ligera (0,25 a 1,00 mm/hora), puede que el agua no llegue hasta las plantas de café bajo sombra. Por el contrario, cuando la lluvia es intensa y larga, la sombra canaliza el agua, se forman grandes gotas (hasta de 9 mm de diámetro) que caen esparcidamente en el cafetal (Avelino et al. 2004). Se espera, por lo tanto, que en lluvias de baja intensidad la sombra contribuya a limitar la dispersión de esporas de la roya; al contrario, las lluvias fuertes alientan la dispersión, por el impacto de las gotas grandes de agua en las hojas.

El cultivo del café requiere una humedad relativa de entre 70 y 85%; en cuanto a la roya, es poco lo que sabe sobre el efecto de la humedad relativa en su desarrollo. Avelino y Rivas (2013) afirman que la humedad relativa y la mojadura de la hoja tienen un efecto sobre la germinación de la uredospora de la roya. Cuando hay alta humedad relativa en el ambiente, mejora la disponibilidad de agua y los tejidos (hojas, frutos y ramas) permanecen húmedos, lo que favorece la germinación de la uredospora de la roya del café y la proliferación de la infección.

Feliz (2003) indica que una mayor incidencia solar disminuye la humedad relativa por debajo del 70% en las horas de la tarde, tanto en las calles de las plantaciones a pleno sol como bajo sombra de madero negro (*Gliricidia sepium*). Esto genera condiciones desfavorables para el desarrollo de la roya del café. Según López (2010), la humedad relativa se mantiene alta durante la noche, sin variaciones entre las diferentes condiciones de cultivo, pero tiende a bajar durante el día. El café cultivado a pleno sol presenta menor humedad durante el día respecto al café cultivado bajo sombra regulada, lo que genera condiciones adversas para el desarrollo de la enfermedad (Cuadro 1).

El rocío es un fenómeno físico-meteorológico donde la humedad del aire se condensa en forma de gotas por la disminución brusca de la temperatura, o el contacto con superficies frías. Se habla de rocío en general cuando hay condensación sobre una superficie, usualmente sobre la cubierta vegetal del suelo. El punto de rocío es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire para transformarse en rocío, neblina u otro tipo de nube; con temperaturas muy bajas se hace escarcha.

Cuando el aire se satura (humedad relativa igual al 100%) se llega al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de humedad relativa con la misma temperatura, o por un descenso de temperatura con la misma humedad relativa.

López (2010) determinó que en el periodo entre las 6:00 pm y 6:00 am, en condición sin lluvia en café sembrado al sol se da una estrecha relación entre la temperatura de la hoja y el punto de rocío (Figura 2), lo que favorece la germinación de las esporas de la roya del café. En condiciones del café bajo sombra regulada, la temperatura de la hoja está por encima del punto de rocío, lo que reduce considerablemente la formación de rocío y, en consecuencia, la posibilidad de germinación de la espora del hongo. La presencia o ausencia de rocío en las hojas de café puede ser un aspecto determinante para que las esporas del hongo puedan o no desarrollarse.

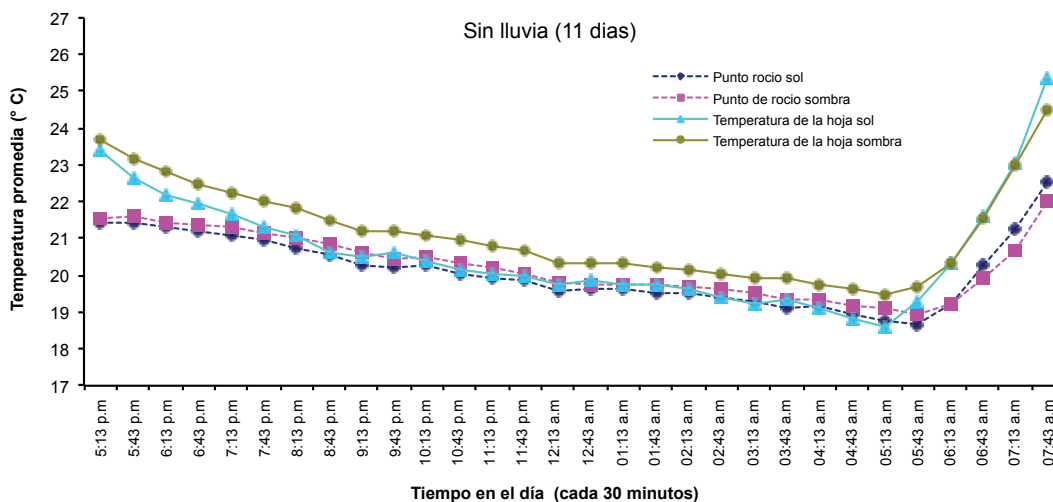


Figura 2. Comparación de la temperatura de hoja (línea continua) y el punto de rocío (línea discontinua) en condición sin lluvia, para los ensayos sol y sombra, en el periodo 2009
Fuente: López (2010).

Cuando el cultivo está a pleno sol, en los días con lluvia (Figura 3), las posibilidades de formación de rocío son muy reducidas pues la temperatura de la hoja permanece por encima del punto de rocío. En condiciones de cultivo bajo sombra regulada en los días sin lluvia la temperatura del punto de rocío es muy superior a la de la hoja por lo que no llega a depositarse agua sobre la hoja.

Otro factor que influye en la infestación con roya en la mojadura de la hoja del café. Si bien no se encontraron estudios específicos sobre el efecto de la mojadura en el desarrollo de la

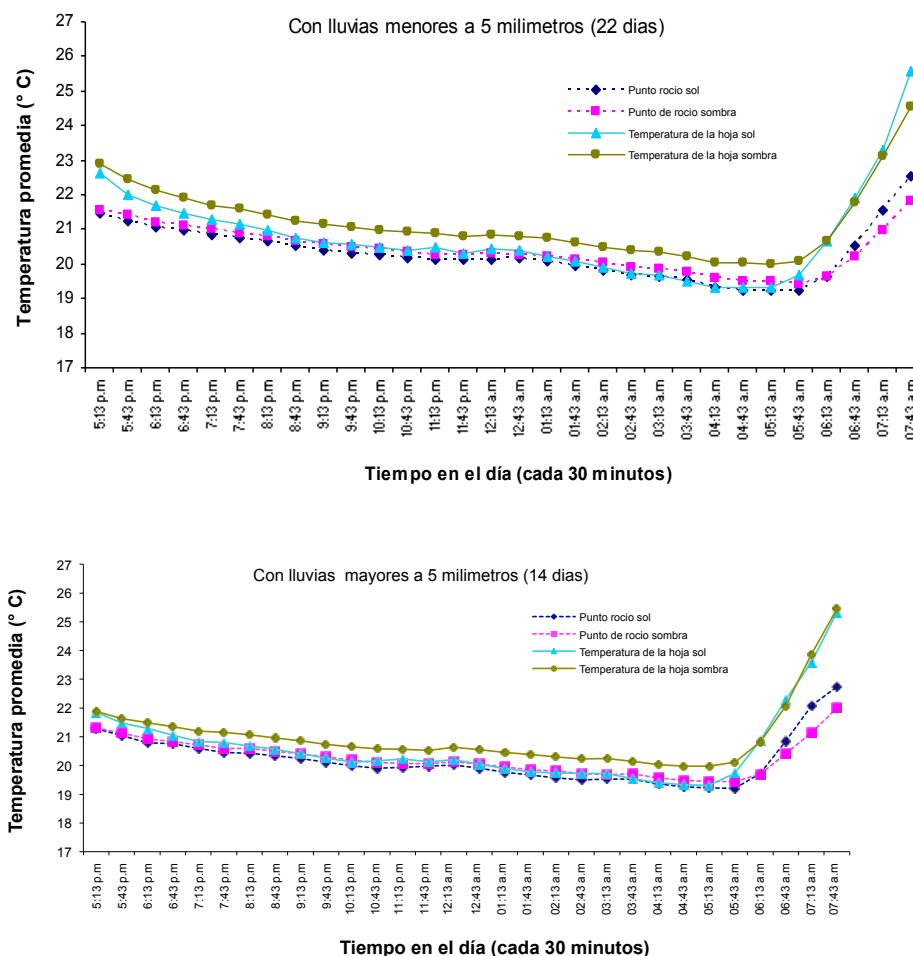


Figura 3. Comparación de la temperatura de la hoja (línea continua) y el punto de rocío (línea discontinua) en condición con lluvias (<5 mm y >5 mm), para los ensayos de sol y sombra, en el periodo 2009 Fuente: López (2010).

enfermedad, Avelino y Rivas (2013) indican que en condiciones de sombra el agua libre de las lluvias se conserva dentro de la plantación aunque bajo sombra no hay rocío, que sería la única fuente de agua en días sin lluvia. López (2010) señala que durante su investigación no se presentaron diferencias significativas de la mojadura entre la condición de plena exposición al sol y bajo sombra regulada durante las noches. Los datos obtenidos muestran que la mojadura de la hoja permaneció por encima del 15% el umbral usado para determinar si las hojas permanecían mojadas o no. Durante el periodo de estudio se observó que entre las 8:43 am y 3:43 pm se presenta una disminución en la mojadura de la hoja; en condiciones de pleno sol sin lluvia se observaron porcentajes de humedad de la hoja por debajo del 15%; en todos los demás casos, la humedad de la hoja estuvo por encima de ese valor, razón por la cual la hoja disponía de humedad suficiente para que el hongo que causa la roya pueda realizar su ciclo de vida en condiciones apropiadas de humedad (Cuadro 1).

De acuerdo con la información evaluada acerca de los factores climáticos que inciden directa o indirectamente en el desarrollo de la roya del café, se llega a la conclusión de que el cultivo de café bajo sombra regulada proporciona condiciones de microclima que propician el desarrollo de la enfermedad. Bajo condiciones de sombra, las hojas se mantienen mojadas por más tiempo lo cual favorece la germinación de la espora, las temperaturas son cercanas a las óptimas para la germinación y penetración del hongo y hay una mayor humedad relativa. Además, la sombra favorece una menor intensidad de luz que facilita la germinación de la espora (Nutman et al. 1963). En condiciones soleadas, la mayor exposición a la luz inhibe la germinación de las esporas y las gotas de agua en la superficie de las hojas se evaporan más rápido (Rayner 1961).

4.3 Efecto de la sombra del café en los factores ambientales y su relación con la roya del café

Los estudios realizados demuestran cómo la precipitación, altitud, temperatura, humedad relativa y mojadura de la hoja están estrechamente relacionados con el ciclo de vida, comportamiento y desarrollo de la roya del café. Estos estudios se han realizado en café cultivado a plena exposición o bajo sombra y no se encuentran estudios que comparen ambos sistemas de cultivo, lo que permitiría entender mejor la problemática relacionada con el desarrollo y comportamiento de la enfermedad.

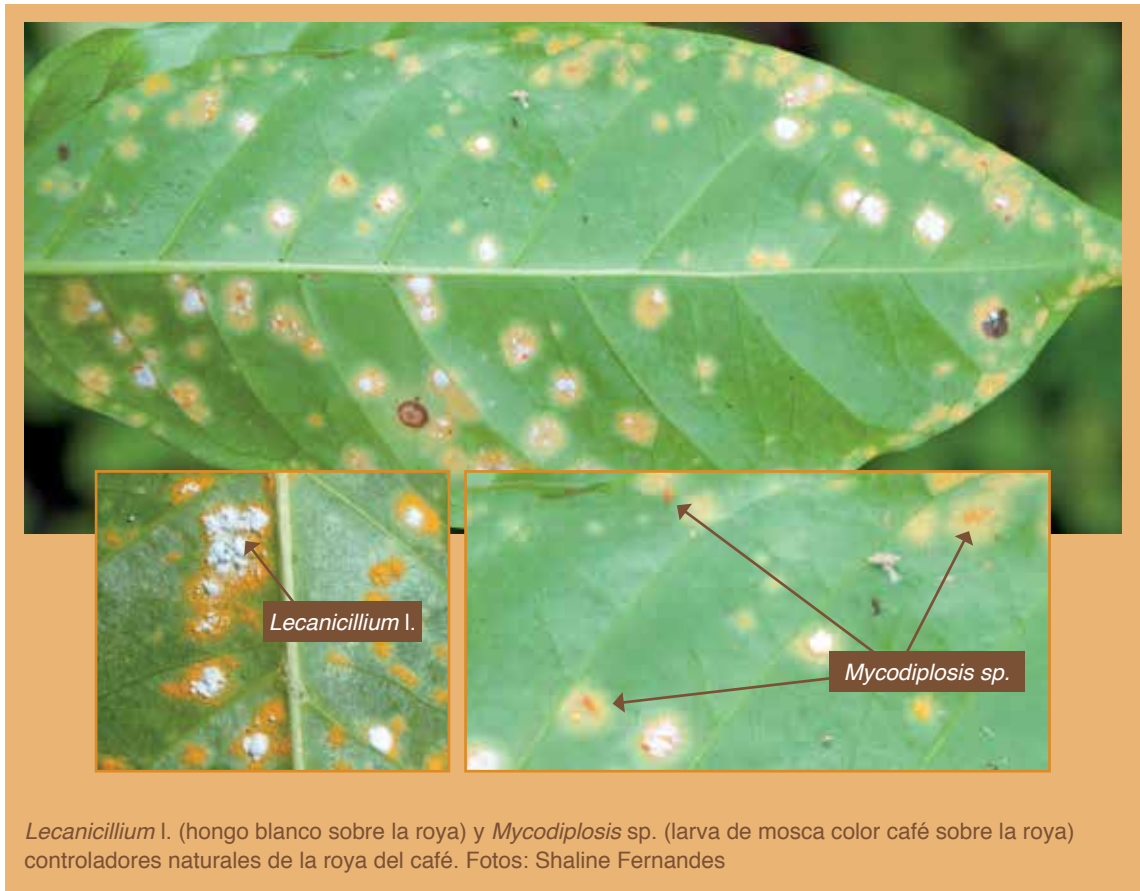
En el año 2000, el CATIE creó el “Experimento de café de largo plazo”, el cual combina sistemas de manejo desde el cultivo convencional de altos insumos hasta el manejo orgánico básico y varias combinaciones de sombra, incluyendo el manejo a pleno sol como testigo. En el 2014, Pico Rosado culminó un estudio sobre los efectos de la sombra y el manejo del café en la incidencia,

severidad, cantidad de inóculo y dispersión de *H. vastatrix* en Costa Rica, como parte del experimento mencionado. El objetivo principal del estudio fue esclarecer el efecto de la sombra sobre los procesos pre-infecciosos, colonización, esporulación y dispersión de la roya anaranjada del café.

Durante un año, el estudio evaluó tres niveles de sombra (*Chloroleucon eurycyclum* + *Erythrina poeppigiana*; *Erythrina poeppigiana*; pleno sol) combinados con tres intensidades de manejo agronómico (convencional con fungicida; sin fungicida; orgánico). Durante la investigación se analizó el porcentaje de hojas enfermas, porcentaje de área enferma, cantidad de inóculo producido, área bajo la curva de progreso de la enfermedad (en hojas enfermas y área enferma), porcentaje de microparasitismo por *Lecanicillium lecanii*, porcentaje de crecimiento y defoliación y carga fructífera del hospedero (planta de café).

Los resultados de la investigación permitieron dar respuesta a las interrogantes planteadas, o bien reconfirmar resultados de investigaciones previas. Los resultados más destacados se presentan a continuación:

1. La roya, en presencia de baja carga fructífera (baja producción), no tiene las condiciones para producir una epidemia.
2. La sombra densa con árboles de copa abierta (cobertura de sombra mayor al 40%) favorece la frecuencia de mojadura de la hoja, la temperatura óptima y una humedad relativa más alta, todo lo cual favorece la germinación de las esporas del hongo.
3. A pleno sol, el crecimiento de hojas del café fue mayor que a la sombra; este hecho pudo haber causado una dilución de la enfermedad en condiciones de pleno sol y dar la impresión de que bajo sombra la incidencia es mayor.
4. La sombra favorece el desarrollo del enemigo natural (hiperparásito) de la roya, el hongo *Lecanicillium lecanii*. La mayor actividad reguladora de *L. lecanii* se dio en la segunda parte de la época lluviosa, cuando la roya anaranjada era abundante. Este comportamiento permite entender que la sombra es hábitat de microorganismos benéficos y que estos contribuyen al control de plagas o enfermedades de forma natural.
5. En el periodo de mayor carga fructífera en el 2014, la intensidad de la epidemia se revirtió; es decir, hubo una mayor incidencia de roya anaranjada en condiciones de exposición solar. Como lo han explicado otros investigadores, a mayor carga fructífera hay más roya del café (Avelino et al. 2004, Avelino et al. 2006, Costa et al. 2006, López et al. 2012).
6. El manejo convencional medio con fungicidas controla la roya del café al inicio de la epidemia, pero cuando el fungicida deja de hacer su efecto, la epidemia aumenta. Por el contrario, el manejo orgánico no controla la roya anaranjada al inicio, pero sí al final de la epidemia, debido a una mayor presencia del regulador natural de la roya del café *L. lecanii* (Pico Rosado 2014).



En cuanto a la dispersión de la roya del café, la investigación determinó que:

1. En presencia de mucha lluvia, la sombra favorece la dispersión en seco de las esporas de roya, hasta 3,7 veces más que a pleno sol.
2. En momentos posteriores y cercanos a una lluvia se observó mayor dispersión (0,17 veces más) bajo sombra que a pleno sol, posiblemente porque las esporas fueron lavadas por la lluvia al pleno sol.
3. La sombra intercepta el viento en ausencia de lluvia; esto desfavorece la dispersión comparado con el pleno sol.
4. La sombra puede contribuir a aumentar la dispersión cuando llueve fuerte. Sin embargo, cuando no llueve o llueve suave, sucede lo contrario. Los periodos secos intercalados en la época de lluvias podrían favorecer la dispersión a pleno sol y explicar en parte la epidemia continental que hubo en el 2012 (Pico Rosado 2014).

Otro estudio realizado por Villarreyna Acuña (2014) en los municipios de Jinotega, el Tuma-La Dalia y San Ramón en Nicaragua, buscaba entender mejor los efectos de la epidemia de la roya del café que afectó los cafetales del país en el año 2012, en cuanto al manejo del cultivo. Se encontró que los mayores impactos generados por la epidemia se relacionaban con los bajos niveles de manejo y condiciones socioeconómicas de los productores. En orden jerárquico, las variables de mayor impacto fueron la nutrición de la planta, la aplicación de fungicidas en el 2011 y 2012, el monitoreo de la roya, la regulación de la sombra en 2011 y 2012 y aspectos socioeconómicos como capacitaciones, asistencia técnica y acceso a créditos. Este estudio confirma lo ya reportado por Avelino et al. (2004), Avelino et al. (2006) y Avelino y Rivas (2013): **la roya es el resultado de una combinación de clima y manejo.**

4.4 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?

A continuación se detallan las actividades que el personal técnico o promotor debe desarrollar durante la sesión con las familias productoras:

1. Seleccione material vegetal (hojas de café) para explicar el ciclo de vida del hongo; asegúrese de contar con hojas con síntomas iniciales de la enfermedad hasta hojas con la enfermedad muy avanzada (muchas manchas de roya del café y bien esporuladas).
2. Seleccione un sitio en el cafetal para explicar las condiciones que favorecen el desarrollo de la enfermedad. En ese sitio se abordan los temas de temperatura, humedad relativa, mojadura de la hoja, rocío, radiación y condiciones del sitio.
3. Haga que los participantes observen las diferencias que se presentan en café cultivado a plena exposición del sol y bajo sombra regulada.
4. Relacione la incidencia de la enfermedad y analice los aspectos relacionados con la producción (carga productiva) en ambos sistemas, así como los vínculos entre producción y factores abióticos (temperatura, humedad, radiación, etc.).
5. Previamente, seleccione áreas del cafetal donde se presenten condiciones de sombra superior al 40% y pleno sol. Promueva el diálogo entre los participantes acerca de la relación entre la roya anaranjada del café, el manejo del cultivo de café y las condiciones de ambiente. En la práctica es importante estimular la observación y, al mismo tiempo, motivar las reflexiones con el grupo de productoras y productores sobre los diferentes aspectos encontrados.

Bibliografía consultada

- Avelino, J; Muller, RA; Cilas, C; Velasco, H. 1991. Développement de la rouille orangée dans des plantation em cours de modernisation plantées de variétés naines dans le Sud- Es du Mexique. *Café Cacao Thé* 35(1): 21-24.
- Avelino, J; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del café. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>.
- Avelino, J; Willocquet, L; Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathology* 53: 541-547.
- Avelino, J; Zelaya, H; Merlo, A; Pineda, A; Ordoñez, M; Savary, S. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* 197(3-4): 431-447.
- Barradas, VL; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shade and open-grown coffee (*Coffea arabica* L) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* 38: 101-112.
- Bock, KR. 1962. Dispersal of uredospores of *Hemileia vastatrix* under field conditions. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 45(2): 63-74.
- Caramori, PH; Androcioioli, A; Leal, AC. 1996. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. *Agroforestry Systems* 33: 205-214.
- Castro, F; Montes, E; Raine, M. 2004. Centroamérica la crisis cafetalera: efectos y estrategias para hacerle frente. San José, CR. Consultado 02-12-2014. <http://www.dev.ico.org/documents/cmr0508c.pdf>
- Costa, MJ; Zambolim, L; Rodrigues, FA. 2006. Effect of levels of coffee berry removals on the incidence of rust and on the level of nutrients, carbohydrates and reductor sugar. *Fitopatología Brasileira* (6): 564-571.
- Feliz, D. 2003. Incidencias de la broca (*Hypothenemus hampei* Ferr. 1867) y sus controladores en las plantas de café bajo diferentes tipos de sombra en San Marcos, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 68 p.
- Fischersworing, BH; Robkamp, RR. 2001. Guía para la caficultura ecológica. 3 ed. Eschborn, Alemania, GTZ. 153 p.
- Gálvez,GC; Montoya, M; Córdoba, M. 1982. Estudio epidemiológico de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) en El Salvador. In Simposio Latinoamericano sobre Caficultura [5. San Salvador, El Salvador, 20-22 octubre, 1982]. San José, Costa Rica, IICA. P. 121-141.
- Holguin, F. 1985. Epidemiología de la roya del café bajo diferentes condiciones ecológicas. In Reunión Regional del Promecafé sobre control de la roya del café [2. Tegucigalpa, Honduras, 20-23 agosto, 1985]. Tegucigalpa, Honduras, IICA. P. 150-150.
- Imbach, AC; Fassbender, HW; Beer, J; Borel, R; Bonnemann, A. 1989. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. 6. Balances hídricos e ingresos con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos. *Turrialba (CR)* 39: 400-414.
- Jaramillo-Robledo, A. 1976. Condiciones meteorológicas en un cafetal bajo sombrío en Colombia. *Cenicafé (CO)* 27(4): 180-184.
- Jaramillo-Robledo, A. 1984. Flujos de radiación solar y de energía en *Coffea arabica*. L. *Cenicafé (CO)* 34(4): 115-126.
- Jaramillo-Robledo, A; Chaves-Córdobas, B. 1998. Intercepción de la lluvia en un bosque y en plantaciones de *Coffea arabica* L. *Cenicafé (CO)* 49: 129-134.
- Jaramillo-Robledo, A; Gómez-Gómez, L. 1989. Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. *Cenicafé (CO)* 40(3): 65-79.
- Kushalappa, AC. 1989. Biology and epidemiology. In Kushalappa, AC; Eske, AB. (Eds.). *Coffe Rust: Epidemiology, resistance and management*. Florida, CRC Press. P. 16-80.

- López, DF. 2010. Efecto de la carga fructífera sobre la roya anaranjada (*Hemileia vastatrix*) del café, bajo condiciones microclimáticas de sol y sombra en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 99 p.
- López, DF; Virginio, E de M; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection* 38(2012): 21-29.
- Machado, JRM; Matiolo, JB. 1983. Curva epidemiológica de ferrugem (*Hemileia vastatrix* B. & Br) em cafeeiros sombreados e a pleno sol, na Ibiapa, noreste do Ceara. *In: Simposio sobre ferrugens do cafeeiro* [Oeiras, Portugal, CIFC: Outubro 17–20]. p. 282-286.
- Nutman, FJ; Roberts, FM. 1963. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46(1): 27-48.
- Orozco, FJ; Jaramillo-Robledo, A. 1978. Efecto del déficit de humedad en el suelo sobre la temperatura del suelo y de las hojas en plantas de *Coffea canephora* y *Coffea arabica*. *Genicafé (CO)* 29(4): 121-134.
- Pico Rosado, J. 2014. Efecto de la sombra del café y el manejo sobre la incidencia, severidad, cantidad de inóculo y dispersión de *Hemileia vastatrix* en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65 p.
- Procafé (Fundación para las investigaciones del café, SV). 2014. Condiciones agroecológicas del café. <http://www.procafe.com.sv/menu/Generalidades/CondicionesAgroecologicas.htm>
- Rayner, R. 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.). *Annals of Applied Biology* (3): 497-505.
- Santacreo, R; Reyes, E; Osegueda, S. 1983. Estudio del desarrollo de la roya del café *Hemileia vastatrix* Berk & Br. y su relación con factores biológicos y climáticos en condiciones de campo en dos zonas cafetaleras de Honduras. *In Simposio Latinoamericano sobre Caficultura* [6. Panamá, Panamá. 24-25 nov., 1983. San José, Costa Rica, IICA. p 199 - 213.
- Soto-Pinto, L; Perfecto, I; Caballero-Nieto, J. 2002. Shade over coffee: its effects on coffee berry borer, leaf rusts and spontaneous herbs in Chiapas. Mexico. *Agroforestry Systems* 55: 37-45.
- Staver, C; Guharay, F; Monterroso, D; Muschler, RG. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53: 151-170.
- Subero, L. 1970. La roya anaranjada del café. <http://www.infocafes.comdescargasbiblioteca136.pdf>
- Villarreyña Acuña, RA. 2014. Análisis de las condiciones de manejo que propiciaron el impacto de la roya (*Hemileia vastatrix*) en la zona cafetalera de los municipios de Jinotega, El Tuma-La Dalia y San Ramón, Nicaragua. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- Zahner, R. 1968. Water deficits and growth of trees. *In Kozlowiski, TT. (Ed.). Water deficits and plant growth.* New York, Academy Press. V. 2: 191-254.

Capítulo 5. Aspectos fisiológicos relacionados con la roya del café



Foto: Eila S. de Melo V.F.

La fisiología de las plantas está estrechamente relacionada con el funcionamiento de los órganos y tejidos vegetales, los cuales puede verse afectados o favorecidos por las interacciones con los factores climáticos. Los factores que influyen directamente en el desarrollo y productividad del café son la temperatura, precipitación, humedad relativa, rocío y radiación solar, los cuales desempeñan funciones en los procesos de fotosíntesis para elaborar las sustancias alimenticias (azúcares, proteínas, etc.). En el Cap. 4 se brindó una descripción detallada de los factores ambientales que intervienen en el desarrollo de la roya del café. Como se señaló, la enfermedad se fundamenta en un ciclo de infección que en apariencia es simple; sin embargo, durante un cierto tiempo el hongo desarrolla varios ciclos de la enfermedad, lo que contribuye a una epidemia policíclica (varios ciclos consecutivos) en periodos sucesivos. Todos los procesos que se suceden están acompañados de un gran número de variables ambientales y, como el café es un cultivo perenne, está estrechamente relacionado con la fisiología de la producción y el rendimiento de la planta.

El manejo del cultivo, las variedades de café plantadas, la densidad de siembra, el estado nutricional de la planta, el uso y manejo de sombra, el control de plantas arvenses y, muy en especial, la edad de la planta de café son otros tantos factores que tienen influencia e implicaciones en las funciones fisiológicas y en el desarrollo de la roya del café. Estudios realizados en Honduras han demostrado que el manejo del cultivo, diferentes combinaciones de sombra, la densidad de árboles de café por área, la fertilización y la poda pueden influenciar fuertemente en el desarrollo de la enfermedad, dependiendo del microclima y la fisiología de la planta, los cuales indirectamente ejercen un efecto sobre el ciclo de vida del hongo (Avelino et al. 2004).

En este capítulo se abordarán los aspectos de nutrición de la planta de café y la producción (carga fructífera), los cuales están estrechamente relacionados con la fisiología de la planta y con el inicio de afectación de la roya del café.

5.1. Nutrición de la planta

La nutrición consiste en el conjunto de procesos mediante los cuales las plantas toman las sustancias del medio exterior y las transforman en materia alimenticia y energía. El principal elemento nutritivo que utilizan las plantas es el dióxido de carbono (CO_2) que lo toma del aire mediante el proceso de fotosíntesis. El carbono (C) es el constituyente principal de los alimentos que produce la planta para satisfacer las necesidades nutricionales y la producción del grano.

La nutrición se realiza mediante el proceso de absorción de CO_2 y de minerales en solución (con agua) que se encuentran en el suelo. Los nutrientes son absorbidos por las raíces y transportados por el sistema vascular de las plantas hasta las hojas, donde son utilizados para elaborar

las sustancias alimenticias para que la planta pueda realizar las funciones de mantenimiento, crecimiento, producción de frutos y semillas.

En las hojas se realiza la fotosíntesis; la planta elabora aminoácidos y azúcares que constituyen la savia elaborada. Bajo las hojas, los estomas (pequeñas ventanitas) permiten la evaporación de una parte del agua absorbida, la liberación de oxígeno (O_2) y la absorción de CO_2 . Por el tallo, circulan dos tipos de savia: la savia bruta por el xilema (parte interna del tallo) y la savia elaborada por el floema (parte externa del tallo).

Los elementos nutritivos indispensables para la vida de una planta son de dos categorías: **los macronutrientes y los micronutrientes**. Para sus funciones vitales una planta necesita una mayor proporción de macronutrientes y una menor cantidad de micronutrientes. Entre los primeros están el hidrógeno (H), carbono (C), oxígeno (O_2), nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y azufre (S). Los segundos, también conocidos como oligoelementos, son el cloro (Cl), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) y molibdeno (Mo).

Para que la planta de café realice sus funciones, los macro y micronutrientes deben estar disponibles en el suelo en las cantidades apropiadas. Para determinar la concentración o disponibilidad de los elementos en el suelo se deben hacer análisis químicos del suelo en laboratorio, donde se determina la cantidad de cada uno de los elementos disponibles. Las plantas de café extraen constantemente elementos del suelo ya que fotosintetizan todos los días; por esta razón es necesario realizar los análisis de suelo periódicamente; lo recomendable es cada dos años. En caso de disponibilidad limitada de alguno(s) se debe proporcionar por medio de la fertilización. Los programas de fertilización para reponer los nutrientes para las plantas (Anacafé sf) son elaborados en función de la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Igual o más importante que el análisis de suelo es el análisis de los contenidos químicos de las hojas de café. El análisis foliar nos informa del estado nutricional de la planta y brinda evidencias de si efectivamente los nutrientes disponibles en el suelo, o de aplicaciones foliares, están siendo asimilados por la plantación. Un estudio del desequilibrio nutricional en las hojas encontró que durante la fase de crecimiento de los frutos se producen grandes reducciones en las concentraciones de N, P y K en las hojas, con valores por debajo de los adecuados (Acuña et al. 1992). Esto podría deberse a que el 80% del N, P, K, Ca y Mg se acumula en los frutos durante los primeros 120 a 150 días desde el inicio de la floración (Silva et al. 2000). Los niveles de Ca y Mg fueron bajos después de la floración, pero aumentaron paulatinamente a medida que los frutos comienzan a madurar (Chaves y Sarruge 1994). Según Correa et al. (1986), la mayor demanda de nutrientes por los frutos se presenta en los años de mayor producción, mientras que los años de menor producción la demanda por nutrientes es mayor en el área vegetativa.

Un estudio sobre la aplicación de N, P y K presentó diferencias significativas positivas con el porcentaje de hojas atacadas por la roya. Los tratamientos que recibieron la dosis mayor de K mostraron la menor infestación en comparación con aquellos que no recibieron el nutriente. Igualmente, en los tratamientos donde se aplicó N y P no se evidenció un aumento en el ataque de la enfermedad (Koseoglu y Tokmak 1996). Sin embargo, Figueiredo et al. (1974, 1976) constataron que el exceso de N, P y K, así como la no aplicación de N y P, favorecen la incidencia de la roya del café; la deficiencia de N y el exceso de K mostraron la mayor incidencia de la enfermedad: mayor proporción de hojas infectadas y mayor número de pústulas por hoja.

Silva et al. (2000) determinaron una correlación negativa entre los contenidos de N en las hojas y los índices de roya del café. De forma similar, se presentó una relación inversa entre los contenidos de K en las hojas y los índices de roya, lo que indica que bajos niveles de K favorecen la enfermedad. Otros investigadores obtuvieron resultados similares con el boro: altos niveles del micronutriente en los períodos de mayor desarrollo de la roya (Cruz y Chaves 1973). Sin embargo, no se demostró la correlación entre el contenido de boro con la evolución de la enfermedad (Acuña et al. 1992, Carvalho et al. 1993).

Los estudios mencionados determinaron que, en términos generales, en la época de mayor incidencia de la roya del café se presenta una reducción en los contenidos foliares de N, P, K y S, y aumento en los contenidos de Ca y Mg (Acuña et al. 1992, López, 1976). No obstante, las variaciones en los contenidos de macronutrientes no se relacionan con la menor o mayor severidad del ataque de la roya, aunque esa variación es de naturaleza fisiológica y no consecuencia de la roya. Chaves Arias (2013) afirma que no hay consenso en cuanto a la influencia específica de algún nutriente sobre el desarrollo de la roya, pero destaca la importancia de programas de fertilización integral para evitar desbalances nutricionales provocados por el drenaje de nutrientes de las hojas a los frutos. En estudios realizados bajo condiciones controladas (hidroponía y elementos marcados), la migración de los elementos de las hojas hacia los frutos es porcentualmente mayor a medida que se reduce la disponibilidad para el sistema radical (Chaves Arias 2013).

Otro aspecto poco estudiado son los productos de la fotosíntesis; en particular, los metabolitos –y principalmente los compuestos fenólicos– que pueden actuar en las plantas como fuente de resistencia a plagas y enfermedades. Algunos estudios han demostrado que se presenta una disminución de estos compuestos en las hojas de las plantas de café durante el proceso de expansión y llenado del fruto; se ha sugerido que esta podría ser una de las causas del aumento de la susceptibilidad a la roya del café durante esta fase y que el origen es producto de la migración directa de los compuestos fenólicos de las hojas hacia los frutos o al menos de los metabolitos primarios indispensables para su biosíntesis (Chaves Arias 2013).

5.2. Carga fructífera

En el cultivo del café, al igual que en los cultivos perennes en general, se presenta una producción bienal (bienalidad); o sea que las plantas producen mayor cantidad de frutos un año y al siguiente año disminuye la producción. Esto se debe a que la planta tiene que recuperar las reservas alimenticias que utilizó en el año de mayor producción.

Al estudiar el proceso de bienalidad productiva del café y su relación con los ataques de la roya del café, Chaves Arias (2013) encontró que se presenta un desequilibrio nutricional en las plantas con fuerte producción, lo que podría ser una de las causas que expliquen la mayor susceptibilidad a la enfermedad. Este desequilibrio podría originarse por la migración de nutrientes desde las hojas hacia los frutos.

La predisposición de las hojas al ataque de la roya del café varía en función de la producción (carga fructífera), probablemente debido a que durante el periodo de fructificación migran compuestos fenólicos de las hojas hacia los frutos (Avelino et al. 1993, Chaves Arias 2013). En un estudio realizado por Avelino et al. (1993) en Guatemala, corroboraron la existencia de una relación positiva altamente significativa (probabilidad 0,01 %) entre la carga fructífera del café, la cual fue evaluada después de la caída fisiológica de los frutos, y la infección posterior que sufrieron las plantas; un 50% de la variabilidad de la infección observada fue atribuida a la carga fructífera.

Los ataques de roya al café tienden a ser de mayor severidad conforme aumenta la producción. En un ensayo en Brasil, Miguel et al. (1977) evaluaron el porcentaje de roya anaranjada en parcelas de café con diferentes productividades, con y sin aplicación de fungicidas a base de cobre (cúpricos). Los resultados mostraron que en todos los casos el fungicida redujo el porcentaje de infección, aunque siempre fue considerablemente mayor en las parcelas de más alta productividad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de hojas infectadas por la roya del café en parcelas con producción alta, media y baja; con y sin aplicación de fungicidas

Producción	Porcentaje de hojas con roya	
	Sin fungicida	Con fungicida
Baja	36,5	11,5
Media	54,0	17,0
Alta	77,5	28,0

Fuente: Miguel et al. (1977).

La predisposición del café al ataque de la roya pareciera incrementarse no solamente en plantas con alta carga fructífera, sino también en una misma planta a medida que se desarrolla el fruto (Avelino et al. 1991). En un ensayo realizado en Brasil, Miguel y Matiello (1985) confirmaron la importancia de la producción en relación con la incidencia de la roya. Los autores encontraron que dentro de una misma planta el porcentaje de hojas atacadas estuvo positivamente relacionado con el número de frutos por bandola.

En otro estudio realizado en México durante el periodo de marzo de 1988 a abril de 1989, Avelino et al. (1991) observaron que el inicio de la enfermedad coincidió con el inicio de la cosecha. El crecimiento acelerado de la epidemia ocurrió cuando la cosecha estaba bien establecida y la máxima infección se encontró al final de la cosecha. Después de la cosecha, la epidemia empezó a declinar. Otro factor que podría incidir en este comportamiento es el gran movimiento de las personas que manejan y recolectan café, lo cual favorece la diseminación de las uredosporas.

López et al. (2012) evaluaron los efectos de la sombra en el comportamiento de la roya del café. Sus resultados son controversiales porque, por una parte, la sombra ayuda a prevenir altas cargas fructíferas, con lo que decrece la susceptibilidad de la hoja al patógeno, pero por otra parte, la sombra ofrece un mejor microclima para la germinación y colonización del hongo. Estos dos modelos antagonistas probablemente se combinan bajo condiciones naturales. Para clarificar los efectos individuales y disociar estos dos factores se realizó una investigación donde se homogenizaron manualmente las cargas fructíferas bajo dos condiciones de exposición a la luz: bajo sombra y plena exposición a la luz solar. El ensayo fue realizado en Turrialba, Costa Rica a 600 msnm en un ensayo de café bajo sombra de la especie *Erythrina poeppigiana*, con dos regulaciones de copa por año.

El ensayo fue subdividido en dos sub-lotes; en uno se mantuvo la sombra y en el otro se eliminó. En cada sub-lote se removieron los frutos de los nudos de 40 plantas para dejar cuatro niveles de nudos productivos: 0, 150, 250 y 500 nudos productivos por planta de café. Durante dos años se evaluó la incidencia y severidad del ataque de la roya, así como el crecimiento de la planta y la defoliación en las 40 plantas de café. También se monitorearon la temperatura del aire y de la hoja de café, la mojadura de la hoja y la humedad relativa.

Los resultados obtenidos demostraron que la intensidad de la epidemia de roya se incrementó de forma lineal respecto a la carga fructífera. Se determinó un incremento del 28,9% en la incidencia de la enfermedad y un 192% de incremento en la severidad en las plantas que tenían 500 nudos productivos respecto a las plantas sin (cero) nudos productivos. Con la homogenización de la carga fructífera la intensidad de la epidemia de la roya del café fue mayor en el lote con sombra con un 21,5% de incremento en la incidencia y un 22,4% de incremento en la severidad (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje máximo de crecimiento acumulado en hojas y área foliar en función de la carga fructífera y de la exposición al sol (valores promedios)

Descriptor	Ensayos y tratamientos	Hojas				Área foliar			
		2008		2009		2008		2009	
	Café a pleno sol	47,06	b	120,13	b	19,62	ns	201,45	b
PMCA	Café con sombra	33,08	a	84,04	a	12,09	ns	133,95	a
	0 np	42,37	ns	111,55	ns	12,61	ns	159,62	ns
	150 np	42,16	ns	105,81	ns	16,9	ns	155,22	ns
	250 np	34,11	ns	103,03	ns	13,17	ns	187,93	ns
	500 np	41,64	ns	87,96	ns	20,75	ns	168,01	ns

PMCA = porcentaje máximo de crecimiento acumulado. np = nudos productivos.

Prueba LSD Fisher ≤ 0.05 . Letras distintas indican diferencias significativas entre ensayos y entre tratamientos.

Fuente: López-Bravo (2010).

El estudio encontró que, a plena exposición, aumenta el crecimiento de nuevas hojas (25,2%) y nueva área foliar (37,5%). Asimismo, se determinó que el microclima bajo sombra fue más favorable para el desarrollo de la roya del café, debido a la mayor variación de la temperatura durante el día, menor temperatura máxima y mayor frecuencia de mojadura de la hoja. Esto demuestra que, efectivamente, la sombra tiene efectos antagonistas sobre la roya del café. El servicio proveído por la sombra en el control de la roya del café está necesariamente asociado con un servicio que consiste en la reducción de la producción a corto plazo.

5.3. ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?

Para desarrollar la sesión con productores y productoras, el personal técnico y/o promotor debe preparar con anticipación los materiales necesarios para explicar y dialogar sobre los aspectos siguientes:

- Explique cómo se alimenta la planta de café; indique que para preparar sus alimentos, la planta necesita tomar nutrientes del aire y del suelo.
- Detalle los elementos que la planta toma del aire por medio de las hojas; señale en donde están ubicadas las estructuras microscópicas (estomas) por donde se realiza el intercambio gaseoso (toma de CO₂, O₂, hidrógeno). Es recomendable presentar una fotografía o dibujo ampliado de los estomas.

- Señale que la planta absorbe el agua y los nutrientes del suelo a través de las raíces. Muestre las raíces finas de una planta de café en un dibujo, o bien remueva la hojarasca para mostrar las raíces. Asegúrese de que los productores entienden el proceso de absorción.
- Describa el proceso de fotosíntesis: el agua y los nutrientes son transportados a las hojas, donde unas estructuras (células) dentro de la hoja, llamadas cloroplastos, se encargan de realizar la fotosíntesis. Los ingredientes principales para realizar la fotosíntesis son: luz solar + CO_2 + agua + nutrientes = azúcares, proteínas y otras sustancias importantes para la planta. Prepare con anticipación una demostración con dos plantas de café en bolsas o macetas separadas (misma edad, tamaño, variedad, vigor, suelo y humedad); una se mantiene en total oscuridad durante unos 7 o 10 días y la otra expuesta normalmente al ambiente. De esta forma los productores podrán ver los efectos de la falta de luz total y de la reducción del proceso de fotosíntesis. Se puede documentar fotográficamente los cambios experimentados por ambas plantas para mostrarlas durante el evento.
- Destaque la importancia de la regulación de la sombra y de una buena nutrición para que la planta pueda desarrollar sus funciones vitales: mantenimiento, crecimiento y producción.
- Explique que cuando la planta está en el llenado de los frutos se ha observado una disminución de los niveles de N, P, K y S y que esta disminución hace que la planta de café se vuelva más susceptible al ataque de la roya del café. Es decir que la planta está más débil y, entonces, la roya entra con más facilidad.
- Hable ahora de los fenoles, unas sustancias que se producen en la hoja del café y son necesarias para el llenado de los frutos. Algunos estudios han demostrado que estos compuestos, cuando están en las hojas, actúan como defensa contra el ataque de la roya. Entonces, durante el proceso de llenado de los frutos, disminuye la presencia de fenoles en las hojas y por esa razón la roya puede desarrollarse más fácilmente. Para demostrar la presencia de las sustancias fenólicas, tome una hoja de café, macháquela un poco con los dedos y después de unos minutos, la hoja comienza a tomar un color oscuro, ahí es donde se produce un efecto de oxidación de las sustancias fenólicas.

Para la segunda parte de la sesión, asegúrese de tener al menos una planta a pleno sol o más expuesta al sol y otra bajo sombra.

- Explique el efecto de bienalidad de la producción de café. Deje en claro que este efecto es más marcado en el cultivo de café a plena exposición solar que bajo sombra.
- Explique el proceso que sucede en ambas condiciones respecto a la condiciones de microclima: temperatura, humedad relativa, radiación y mojadura de la hoja.
- Hable de los resultados que se han obtenido en diferentes estudios sobre el efecto antagónico que se presenta en el café sembrado bajo sombra: el ataque de la roya del café puede ser mayor bajo sombra (principalmente densa) pero, a la vez, la sombra regula la carga fructífera (disminuye picos entre alta y baja producción) y así se reduce la incidencia de la enfermedad.

- Debe quedar claro que bajo las mismas condiciones (pleno sol o sombra) y con la misma carga fructífera, el ataque y severidad de la roya puede ser mayor bajo sombra porque las condiciones de microclima le favorecen (temperatura, humedad, mojadura de la hoja y oscuridad) para germinar y desarrollarse en la hoja del café.
- Haga recordar que la sombra reduce la dispersión de la roya en condiciones de lluvia suave, pero la aumenta con lluvias intensas. De igual manera, en condiciones adecuadas de sombra puede haber un mejor control natural de la roya, ya que los microorganismos que atacan a la roya anaranjada se desarrollan mejor en condiciones de sombra. Se puede hacer prácticas para observar la incidencia en lotes de café con condiciones contrastantes (cafetal de sombra muy densa y cafetal con sombra regulada).

Bibliografía consultada

- Acuña, RS; Zambolim, L; Venegas, VH; Chaves, GM. 1992. Relação entre produção de grãos, o teor foliar de macro nutrientes e da severidade da ferrugem do cafeeiro. *Ceres* 39 (224): 365-377.
- Anacafé (Asociación Nacional de Café, GU). Manejo integrado de la roya de café. Consultado 04-12-2014. http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Manejo_de_Roya
- Avelino, J; Willocquet, L; Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathology* (53): 541-547.
- Carvalho, VL; Chalfoun, SM; Castro, HA; Carvalho, VO. 1993. Influência da produção nos teores de nitrogênio, potássio e boro nas folhas do cafeeiro e suas correlações com a ferrugem. *Fitopatol. Bras.* 18(S): 316 (Resumo).
- Chaves Arias, VM. 2013. Relación de la carga fructífera y la nutrición en la susceptibilidad del café al ataque de la roya. *Revista Informativa Icafé I*: 7-10
- Chaves, CO; Sarruge, JA. 1994. Alterações nas concentrações de macro nutrientes nos frutos e folhas dos cafeeiros durante um ciclo produtivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 19: 427-432.
- Correa, JB; García, AW; Costa, PC. 1986. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. *In: Congresso Brasileiro sobre Pesquisas Cafeeiras* [13. São Lourenço, Minas Gerais, Bra. Resumos]. p. 35-41.
- Cruz Filho, J; Chaves, GM. 1973. Efeito de adubação NPK e micronutrientes (FTE) na incidência da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). *In: Congresso Brasileiro sobre Pragas e Onças do Cafeeiro* [1. Victoria, Rio de Janeiro, Bra. Resumos]. p. 60-61.
- Figueiredo, P; Hiroce, A; Oliveira, O. 1976. Estado nutricional e ataque da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). *O Biológico* 42: 164-167.
- Figueiredo, P; Hiroce, A; Oliveira, OA. 1974. Observações preliminares sobre a relação entre omissão ou excesso de adubo nitrogenado, fosfatado e potássico e níveis de infecção da ferrugem em cafeeiros cultivados em vaso. *In: Congresso Brasileiro sobre Pesquisas Cafeeiras* [2. Poços de Caldas, Rio de Janeiro, Bra. Resumos]. p. 121.
- Koseoglu, AT; Tokmak, S. 1996. Relationships between the incidence of tire blight and nutritional status of pear trees. *New York, USA. J. Plant Nutrition* 19(1): 51-61.

- López-Bravo, DF. 2010. Efecto de la carga fructífera sobre la roya (*Hemileia vastatrix*) del café, bajo condiciones microclimáticas de sol y sombra en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 99 p.
- López-Bravo, DF; Virginio Filho, E. de M; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection* (38): 21-29.
- López, EO. 1976. Are chlorophylls good indicators of nitrogen and phosphorus levels? New York, USA. *J. Plant Nutrition* 17(6): 979-990.
- Miguel, AE; Matiello, JB. 1985. Correlação entre o desenvolvimento da infecção da ferrugem do cafeeiro com diferentes níveis de produção, em ramo isolados. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras [12. Caxambu. Resumos]. P. 64-66.
- Miguel, AE; Matiello, JB; Aalmeida, SR. 1977. Observações sobre efeitos de três níveis de produção na incidência e controle de ferrugem do cafeeiro. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras [5. Guarapari. Resumos]. P. 220-222.
- Silva Acuña, R; Rosales Mondragón, M; Tenías, J. 2000. Aspectos fisiológicos del café: su influencia en el ataque de la roya. *Fonaiap divulga* no. 68: 44-45.

Sección II.

Diagnósticos y prácticas de control

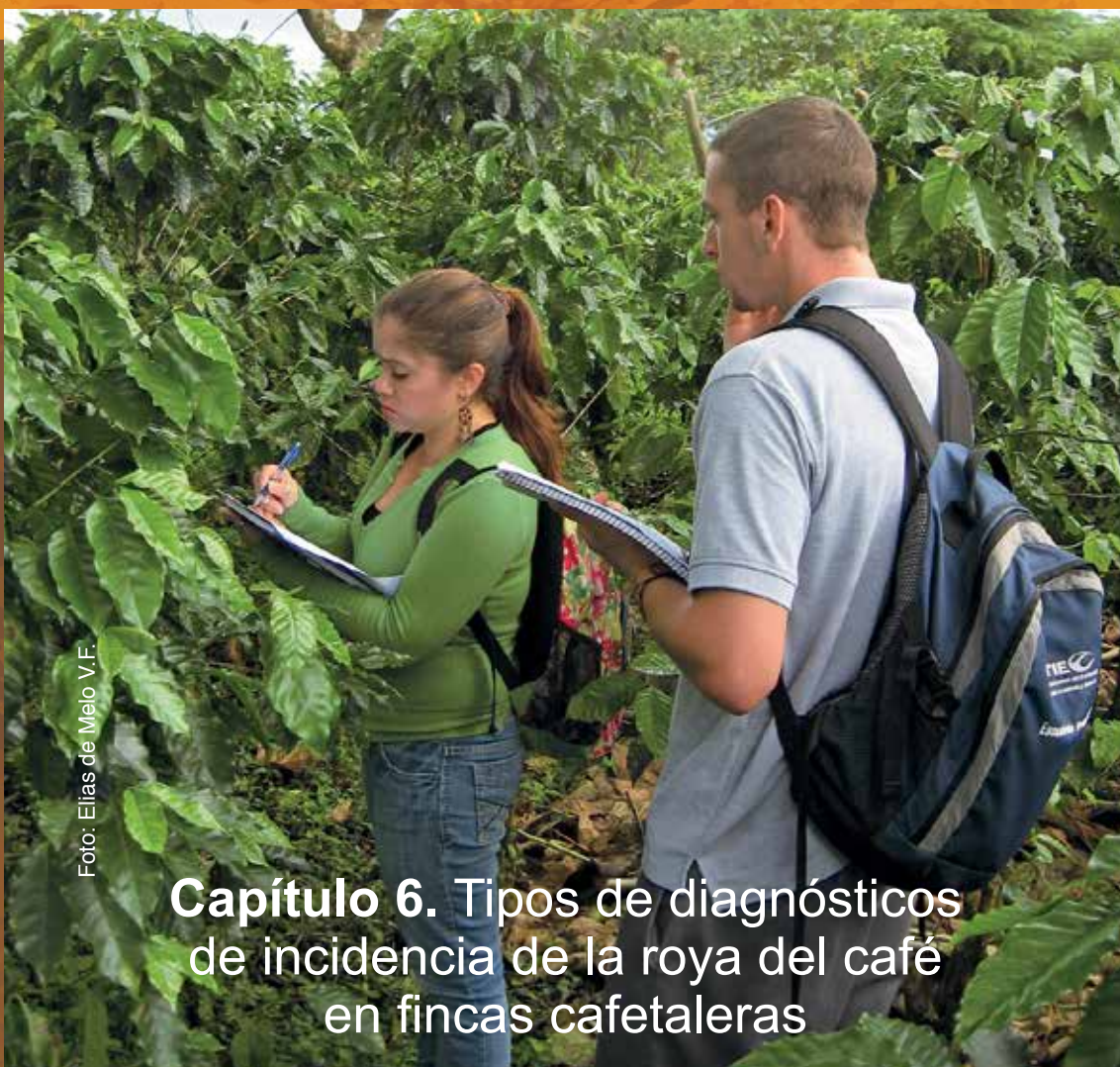


Foto: Elias de Melo V.F.

Capítulo 6. Tipos de diagnósticos de incidencia de la roya del café en fincas cafetaleras

Los periodos lluviosos y secos tienen efectos diferentes sobre las plantas de café y sobre la evolución de la enfermedad. Durante el periodo de lluvias, el cafeto desarrolla los ciclos fenológicos que le permiten crecer, emitir nuevas hojas y producir; simultáneamente, la roya también desarrolla su ciclo de vida en las hojas porque en esta época se dan las mejores condiciones para su instalación y crecimiento.

En los periodos secos, el hongo encuentra condiciones adversas y, entonces, permanece inactivo en las hojas de café adheridas a la planta hasta que se inicia un nuevo periodo de lluvias. La cantidad de hongo o el número de hojas infectadas que permanecen en la planta durante el periodo seco se le denomina **inóculo residual**.

En la producción de café comercial es importante realizar diagnósticos del estado de la roya del café justo en el momento en que inicia el periodo de lluvias para determinar la cantidad de inóculo presente en la plantación. Con un grado alto de probabilidad es posible hacer proyecciones del comportamiento de la enfermedad bajo condiciones óptimas para el desarrollo de su ciclo de vida. De esta forma se podrá programar el manejo que se le dará al café para el control de la enfermedad.

Para que un diagnóstico sea efectivo es necesario emplear un método de muestreo que permita recolectar datos representativos de la condición de la finca o de un lote específico y, con la información generada, se determina el porcentaje de incidencia de la enfermedad. Una vez que se conoce el porcentaje de incidencia y/o severidad de la enfermedad, se selecciona la forma de manejo y los métodos de control para mantener la roya del café en el nivel más bajo posible, de forma que se produzca el menor daño a las hojas y, en consecuencia, lograr una buena producción durante el ciclo de cultivo.

En Centroamérica, algunos institutos del café han realizado investigaciones para definir metodologías de muestreo que permitan obtener información confiable sobre el estado de la roya al momento de realizar el diagnóstico. En algunos países se recomienda realizar dos muestreos (uno al inicio de la estación lluviosa y el otro después de dos o tres meses) para determinar si el programa de manejo de la enfermedad está produciendo el efecto esperado y, en caso contrario, realizar los ajustes necesarios para maximizar el control de la enfermedad.

A continuación se presentan los sistemas de diagnóstico usados por algunos de los institutos de café de la región y por instituciones de investigación. Junto con el técnico y/o promotor, el productor deberá decidir cuál metodología de muestreo utilizar en función del área cultivada, recursos y tiempo disponible para realizar los muestreos. La información debe registrarse para, finalmente, tomar las decisiones del programa anual de prevención y manejo de la enfermedad. Las metodologías y prácticas de muestreo presentadas aquí son confiables y han sido útiles para apoyar

la toma de decisión, así que se puede usar cualquiera de los métodos. Si se quisiera comparar incidencias entre regiones o fincas de un mismo país es mejor utilizar una misma metodología en todos los diagnósticos para tratar de controlar diferencias que pudieran darse con la utilización de métodos distintos.

6.1 Método Anacafé para el diagnóstico de la roya del café

El equipo de investigadores de Anacafé de Guatemala realizó una investigación para determinar el método de muestreo de la roya del café más adecuado para plantaciones comerciales, con el fin de hacer más eficientes los programas de control de la enfermedad (Campos et al. 2013).

El método de muestreo propuesto consiste en el establecimiento de 20 sitios de muestreo en un área de 5 mz^1 (3,75 ha) o menos. Cada sitio debe ser de 0,25 mz (1750 m^2). Se recomienda que los sitios de muestreo se numeren y se localicen en un croquis o mapa, siguiendo la orientación de las parcelas en el campo para facilitar su ubicación. En cada sitio se seleccionan 14 plantas de café al azar; de cada planta se toman diez hojas de la parte baja, media y alta de la planta en dirección de los cuatro puntos cardinales (norte, sur, este y oeste) (Figura 1).

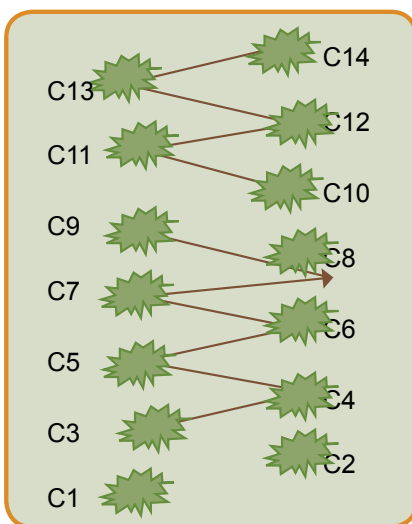


Figura 1. Esquema de muestreo al azar de 14 plantas
Fuente: Campos et al. (2013)

1 La manzana es una unidad de medida de superficie de la tierra equivalente a 7500 m^2 .

La fórmula para determinar el porcentaje de infección es:

$$\% \text{ infección de roya del café (IR)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de hojas infectadas con roya anaranjada} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ Total de hojas colectadas (140)}}$$

Para el registro de la información de los 20 sitios de muestreo es recomendable preparar un formulario como el que se muestra en el Cuadro 1.

Entre las ventajas del método de Anacafé para el monitoreo de la infección de la roya del café se encuentran las siguientes (Campos et al. 2013):

- Permite evaluar la calidad de las asperciones y el desempeño de los fungicidas utilizados para el control de la enfermedad.
- Permite implementar de manera permanente un sistema de muestreo en los programas de control de la roya.

Cuadro 1. Formato de tabla para el registro de información de hojas infectadas por roya del café en cada sitio de muestro

Finca				
Lote y/o sesión del cafetal:			Área (mz):	
Fecha de muestreo:		Días después de la floración principal:		
Responsable del muestreo:				
Sitio	Tamaño de muestra (no. hojas)	Hojas sanas	Hojas infectadas	% infección
1	140			
2	140			
3	140			
.	.			
.	.			
20	140			
Total				
% infección*				

*% infección en los 20 sitios (5Mz)= Total columna % de infección dividido por 20.

Fuente: Campos et al. (2013).

- Iniciar los muestreos para el diagnóstico de la enfermedad entre los 60 y 70 días después de la floración principal.
- En el caso de que se apliquen dos o más aspersiones de fungicida, se recomienda realizar un muestreo previo o entre las aspersiones para evaluar la efectividad del control y realizar las correcciones que correspondan al programa de control.

6.2 Método CATIE para el diagnóstico de la roya del café y otras enfermedades y plagas del café

Esta metodología permite evaluar la incidencia de enfermedades del café, como la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), ojo de gallo (*Mycena tricolor*), y de plagas como el minador de las hojas (*Perileucoptera coffeella*) y la broca del café (*Hypothenemus hampei*). Además, permite determinar la presencia de organismos controladores naturales (*Beauveria bassiana*, hongo que controla la Broca; *Lecanicillium lecanii*, hongo controlador de la roya del café). En este acápite nos enfocaremos en la metodología propuesta para el diagnóstico de incidencia de la roya del café.

La metodología propuesta por Virginio Filho et al. (2009) fue desarrollada por el proyecto CATIE-MIP-AF-NORAD (Guharay 2000) y está diseñada para análisis integral de cafetales (hierbas, macrofauna, sombra).

El proceso metodológico consiste en los pasos siguientes:

- Dividir la finca en lotes con características similares.
- Seleccionar, dentro de cada lote, un cuadro que contenga 100 plantas de café. Al centro del cuadro se seleccionan diez plantas de café – 5 en una hilera (Estación 1) y 5 en otra (Estación 2).
- En cada planta de café se selecciona una bandola (rama plagiotrópica) y se cuentan las hojas enfermas, el número de hojas totales, frutos totales, frutos con broca, frutos brocados con *Beauveria* y nudos totales.
- Cada dato se anota en el cuadro de registro de información (Cuadro 2). Cada columna corresponde a una bandola por planta. Entre una planta u otra se alterna la altura de la bandola o rama. Por ejemplo, en la primera planta se escoge una bandola de arriba, en la segunda planta una bandola en el centro y en la tercera planta una bandola de abajo y así sucesivamente hasta terminar el conteo en las diez plantas.

Cuadro 2. Recuento de plagas en el cultivo de café durante la época lluviosa

Finca: _____ Productor: _____
 Lote: _____ Fecha: _____

	Estación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Total	Porcentaje
Hojas con roya	1							
	2							
Hojas con roya y <i>Lecanicillium</i>	1							
	2							
Hojas con mancha de hierro	1							
	2							
Hojas con minador	1							
	2							
Hojas con antracnosis	1							
	2							
Bandola con antracnosis	1							
	2							
Hojas totales	1							
	2							
Frutos brocados	1							
	2							
Frutos con Beauveria	1							
	2							
Frutos con chasparria	1							
	2							
Frutos totales	1							
	2							
Nudos con cochinilla	1							
	2							
Nudos totales productivos	1							
	2							

Para determinar el porcentaje de incidencia de roya se usa la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de infección de roya (IR)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ total de hojas infectadas} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ Total de hojas en 10 bandolas}}$$

El mismo procedimiento permite determinar la incidencia de otras enfermedades como las indicadas en Cuadro 2.

Además, la metodología propuesta incluye una guía para reconocer las principales enfermedades y plagas en el cultivo de café y una tabla para la toma de decisiones. Así por ejemplo, se considera que entre 10-30% se tiene un nivel crítico de incidencia de la roya del café; en consecuencia, se deben implementar acciones básicas de control y manejo como el **control natural con hongos** (*Verticilium (Lecanicillium lecanii)*; *Cladosporium hemileiae*; *Glomerella ongulata*), además de controles culturales (evitar el exceso de sombra (mantener sombra regulada), aplicar podas y deshijas del cafeto).

En cuanto al número de puntos de muestreo en las fincas se puede utilizar la referencias dadas por Guharay et al. (2000). La metodología se debe aplicar durante la época lluviosa. En función de las posibilidades, se decide si se hará un recuento de plagas en todos los lotes o en algunos de ellos; para tomar esta decisión, considere características como tipo de sombra, nivel y presencia de plagas y enfermedades. Si decide hacer recuentos solo en lotes priorizados, estos deben estar ubicados en toda la finca. Con esos lotes como referencia, se podrá tomar decisiones para el manejo de la finca.

En cada uno de los lotes donde decide hacer recuentos, ubique cinco puntos muy bien distribuidos. Al entrar al lote, diríjase al primer punto para establecer dos estaciones de recuento. Esas estaciones se deben ubicar en sentidos opuestos (a la derecha y a la izquierda, al norte y al sur). Cada estación debe tener cinco plantas y en cada planta se cuenta una bandola según el procedimiento ya descrito. Para cada bandola anote los datos en la hoja de recuento (Cuadro 2). El mismo procedimiento se desarrolla en los demás puntos.

6.3 Método Icafé para el diagnóstico de la roya del café

El Instituto del Café de Costa Rica reconoce que la realización de muestreos es una de las formas para tener un conocimiento acertado y oportuno de la situación de la enfermedad y su avance en el tiempo (Icafé 2013). De esta forma, se podrá tener un criterio técnico de la condición de la enfermedad, los controles que se deben implementar y cuándo aplicarlos.

Para realizar el muestro de la enfermedad, el Icafé, recomienda:

1. Seleccionar al azar 50 plantas de café por hectárea; procure una buena distribución de las plantas en el lote o finca.
2. En cada planta se escoge una bandola de la parte media y se cuenta el número total de hojas, así como el número de hojas enfermas (cualquier hoja que presente al menos una lesión de roya).
3. Para determinar el índice de incidencia de la enfermedad se aplica la fórmula siguiente:

$$\text{Incidencia de roya del café} = \frac{\text{Número de hojas con roya en la bandola} \times 100}{\text{Número total de hojas en la bandola}}$$

4. Una vez realizados los cálculos para las 50 plantas, se suman los resultados y se divide entre 50 para obtener el promedio de incidencia de roya del café en la parcela o la finca. Este cálculo de forma individual (por planta) permite determinar los puntos en la finca donde se presenta la mayor incidencia de la enfermedad para relacionarla con aspectos de manejo que pudieran estar favoreciendo el desarrollo de la enfermedad.
5. Cuando se realice la toma de datos en la parcela o finca, se recomienda utilizar una libreta de campo o un formato preparado para anotar los datos de campo siguiendo el recorrido que se hace para la toma de los datos.

El Icafé recomienda realizar el primer diagnóstico (muestreo) al inicio de la temporada de lluvias, cuando inicia el crecimiento de las bandolas y la brotación de hojas nuevas. Posteriormente se recomienda un segundo muestreo para determinar el progreso de la enfermedad. Para Costa Rica, se recomienda que el segundo muestreo se haga al inicio de la cosecha –entre los meses de junio y julio en las zonas de maduración temprana (zonas bajas) y entre setiembre y octubre en las zonas de altura media y alta–.

Para la toma de decisiones, el Icafé propone que se consideren los siguiente parámetros:

- Si la incidencia de la roya es menor o igual al 5% al momento de establecidas las lluvias (abril o mayo), el aumento de la enfermedad será lento y es recomendable realizar una aplicación con un fungicida de tipo protector (cúprico), con el propósito de retrasar aun más el progreso de la roya.
- Con incidencias entre el 10 y 15% es necesario realizar la aplicación de un fungicida sistémico en dosis curativa lo antes posible para detener el avance de las infecciones que ocurren en las hojas y que no es posible ver aun. Si no se tratara, y se dieran condiciones de clima favorables para el progreso de la enfermedad, la incidencia podría alcanzar niveles superiores al 35% al cabo de 30 días.

- Los programas preventivos de la enfermedad deben aplicarse al inicio de la época lluviosa, mientras que los programas curativos se aplican en los periodos de mayor precipitación con el propósito de obtener una mayor protección de las hojas que se formen.
- Se recomienda que en fincas cafetaleras grandes se establezca un sistema de monitoreo permanente de la enfermedad denominado “**plagueo**”, de forma tal que los costos que representa el monitoreo sea compensado con una mejor aplicación de agroquímicos.

6.4 Método OIRSA para la identificación de la roya del café

El Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA) publicó una guía para el diagnóstico de la roya en el cultivo del café (OIRSA 2013). A continuación se presentan los métodos ofrecidos para algunos países cafetaleros de la región:

Honduras

- Seleccionar al azar cinco sitios en cada lote a muestrear.
- En cada sitio, seleccionar cinco plantas.
- En cada planta, seleccionar seis ramas (bandolas), dos en la parte superior, dos en la parte media y dos en el tercio bajo.
- En cada rama contar el número de hojas con presencia de roya del café y el número total de hojas.

Nicaragua

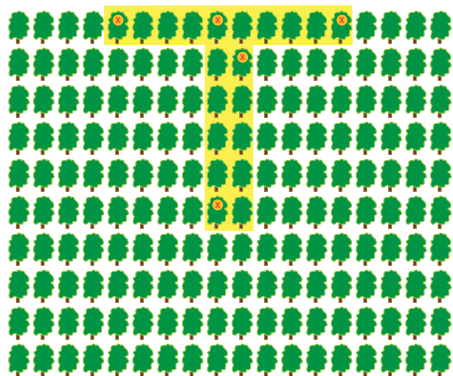
- Seleccionar al azar cinco puntos en cada lote a muestrear.
- En cada punto hacer dos estaciones (una a la izquierda y otra a la derecha).
- En cada estación seleccionar cinco plantas.
- En cada planta seleccionar una rama (bandola):
 - En planta 1: rama entre el estrato medio y superior
 - En planta 2: rama entre estrato medio e inferior
- Continuar así sucesivamente.
- En cada rama contar:
 - Número de hojas con presencia de roya
 - Número total de hojas de la rama

Esta metodología corresponde a la metodología propuesta por Guharay et al. (2000).

México

De acuerdo con OIRSA, se emplea el método de muestreo en T, el cual permite evaluar la severidad de la enfermedad en 20 plantas y en las hojas de cinco plantas (Figura 2). En la figura 3 se ofrece la escala utilizada en México para determinar la severidad del ataque en la planta y en las hojas de café.

Descripción del método



- Para evaluar severidad en plantas, utilizar la siguiente escala:

Clase	Daño en la planta área foliar con roya
0	Planta sana
1	3%
2	10%
3	30%
4	60%
5	Defoliación

- En dirección de los 4 puntos cardinales determinar el % de daño utilizando la escala del diagrama 1.
- Para evaluar la severidad en hojas por planta utilizar escala de cuadro 2 y diagrama 2.

Figura 2. Establecimiento del muestreo en T, procedimiento para la toma de datos y la escala de clasificación para determinar la severidad de la enfermedad en la planta
Fuente OIRSA (2013).

Cuadro 2

Diagrama 1

Escala de severidad de roya en la planta (LANREF)

Clase	Daño en la hoja área foliar afectada						
0	Sano, sin síntomas visibles	0	1	2	3	4	5
1	1-5%	Planta sana	3%	10%	30%	60%	Defoliación
2	6-20%						
3	21-25%						
4	>50%						

Diagrama 2



Escala de severidad de roya en Hojas (LANREF)

0 (Sano) 1 (1-5%) 2 (6-20%) 3 (21-50%) 4 (>50%)

Figura 3. Escalas de evaluación de la severidad de la roya del café en plantas y en las hojas
Fuente OIRSA (2013).

Para conocer más detalles sobre métodos de diagnóstico ver el documento **“Compilado sobre Métodos de Diagnóstico de la Roya”** elaborado por el Proyecto Roya CATIE-CIRAD-PROMECAFE/NORUEGA (Solicitar a <http://bibliotecaorton.catie.ac.cr/>).

6.5 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?

Para desarrollar una sesión con productores y productoras se sugiere que el personal técnico y/o promotores utilicen la información contenida en el capítulo para preparar una síntesis de la información. Dicha síntesis ayudará a explicar y dialogar sobre los aspectos siguientes:

- Explique en qué consiste un sistema de diagnóstico de enfermedades y su importancia para determinar el estado de una enfermedad (roya del café) en un momento dado.
- Resalte que los resultados del diagnóstico son de gran ayuda para la toma de decisiones a nivel de finca, región y país. Los resultados permitirán determinar el estado actual de la enfermedad y las acciones que se deben implementar a corto, mediano y largo plazo.
- Escoja uno de los métodos de diagnóstico y póngalo en práctica en una finca. Desarrolle el proceso completo, desde la selección de los lotes, marcación del área para el diagnóstico, toma de datos en campo y procesamiento de la información.
- Analice la información junto con los productores participantes o el productor propietario de la finca y, luego, contribuya a la toma de las decisiones de manejo que se aplicarán para el control de la roya del café.
- Es recomendable utilizar información de clima, condiciones de sombra del cafetal y carga fructífera, e incorporarla al diagnóstico y hacer suposiciones sobre los efectos de la variación en las condiciones en el desarrollo de la enfermedad; por ejemplo, ¿qué pasa si llueve en exceso?, ¿si la sombra es muy densa?...
- Esta debiera ser una sesión integral que incorpore información contenida en otros capítulos. Es aconsejable comparar los resultados de diferentes lotes para tratar de explicar los factores que han influido en las diferencias entre los resultados de incidencia: sombra, plena exposición solar, poda. Para fines de capacitación, se puede escoger lotes con condiciones contrastantes de sombra (lote con sombra densa, sombra intermedia y plena exposición solar) para dialogar acerca de las posibles respuestas de incidencia de la roya.

Bibliografía consultada

- Campos, O; Gentos, J; Monterroso, N; Santos, D; Reyes, J; Mazariegos, R. 2013. Método de muestreo de la roya del café. Boletín Promecafé (134): 8-10.
- González, R. 2013. Manual operativo de la campaña preventiva contra la roya del café: acciones de vigilancia fitosanitaria en el manejo de la roya del café. México, Sagarpa. (Presentación en power point).
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D; Staver, C. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, Nicaragua, CATIE. 258 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 44).
- Icafé (Instituto del Café de Costa Rica). 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del café. Heredia, Costa Rica, Centro de Investigaciones en Café. 63 p.
- OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria). 2013. Guía de campo para la identificación de síntomas de la roya del café. (Presentación en power point). http://amecafe.org.mx/downloads/Ficha%20Identificaci%C3%B3n%20s%C3%ADntomas%20Roya%20Caf%C3%A9_OIRSA_Versi%C3%B3n1_Julio%20de%202013.pdf
- Virginio Filho, E. de M; Barrios, M; Toruño, I. 2009. ¿Cómo podemos mejorar la finca cafetalera en la cuenca? Una guía de apoyo a procesos de reflexión-acción-reflexión participativos con familias productoras y promotores técnicos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 70 p.

Capítulo 7. El sistema de alerta temprana



Foto: Elias de Melo V.F.

Los sistemas de alerta temprana (SAT) son un conjunto de acciones que se desarrollan para mantener la vigilancia de un evento previsible que se pueda presentar en un momento determinado (Unesco et al. 2011). Los SAT ayudan a conocer con anticipación y con cierto grado de certeza en qué tiempo y espacio una amenaza o evento natural o causado por la actividad humana puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. Los eventos pueden ser de muy diferentes características; por ejemplo, prever inundaciones o deslizamientos de tierra. Los SAT también son aplicables a la producción agrícola para monitorear las condiciones de clima, manejo de cultivo y muchas otras variables que tengan influencia directa en la producción (enfermedades, por ejemplo).

Para establecer un SAT se deben definir un conjunto de procedimientos y hacer uso de instrumentos y equipos que permitan mantener un monitoreo (vigilancia) permanente de los factores naturales (bióticos y abióticos) y antrópicos (hombre) que contribuyan a que se presente o no el evento (Unesco et al. 2011).

Para el caso de la roya del café, un SAT permitiría registrar y usar información meteorológica, de prácticas de cultivo y comportamiento del mercado internacional del café para predecir, con cierto grado de precisión, el riesgo de que se presente un brote de la roya. Es bien conocido que cuando los precios del café disminuyen, los productores reducen las actividades de manejo (podas, fertilización, manejo de sombra) y monitoreo de la enfermedad, lo que redundaría en el repunte de la enfermedad. El SAT, entonces, ayuda a prever la posibilidad de que se presente o no una epidemia como ocurrió en el año 2012 y hacer las previsiones de manejo del cultivo y aplicar las medidas necesarias para prevenir o disminuir el impacto de una epidemia.

Cuando se aplica un SAT a la producción agrícola, el objetivo es recabar información que permita a los productores realizar acciones para minimizar los efectos de un determinado evento –incremento de la incidencia de la roya del café debido a condiciones climáticas propicias–. Así se podrían planificar las acciones para proteger el cultivo mediante prácticas de manejo y aplicación de enmiendas (fungicidas) que reduzcan el impacto de la enfermedad.

7.1 Diseño e implementación de un SAT para el control de la roya del café en Centroamérica

En los años 2012 y 2013 se presentó una fuerte epidemia de roya del café en Centroamérica. Promecafé, en colaboración con otras instituciones de investigación y desarrollo como CATIE, IICA, ARS-USDA, OIRSA, FAO y los institutos nacionales de café, planteó la necesidad de establecer un SAT para prevenir nuevas epidemias en el cultivo y paliar los efectos socioeconómicos de la epidemia vivida.

En octubre 2013 se realizó en Guatemala el “Primer Taller Regional sobre sistemas de alerta temprana de la roya del café” (IICA 2013). Este evento reunió a expertos de las instituciones, representantes del sector cafetalero, organismos internacionales y regionales y expertos en el cultivo del café con el objetivo de diseñar el SAT. Esta acción forma parte de las necesidades identificadas por el Programa Integrado de Combate a la Roya del Café, el cual fue aprobado por los ministerios de agricultura del istmo, con el objetivo de buscar la recuperación de la capacidad productiva del café en Centroamérica y el Caribe (IICA 2013). Del taller en cuestión salió una propuesta que se presentó a la FAO (Hruska 2014). La propuesta considera diversas fuentes de datos e información, entre ellas:

- Factores abióticos importantes: temperatura, humedad, radiación solar, fenología del cultivo.
- Sistema de estaciones meteorológicas para recolectar datos.
- Modelo para predecir brotes del hongo.
- Recomendaciones precisas para el manejo a corto y mediano plazo.

En el mes de mayo 2014 se realizó un segundo taller sobre la implementación piloto del sistema de alerta temprana para la roya del café. Este evento tuvo lugar en El Salvador y fue organizado por el CENTA. En él participaron 30 técnicos de la cadena de café y contó con el apoyo de OIRSA.

El Ihcafé de Honduras impulsó la conformación de un Comité técnico especializado del sistema de alerta temprana para la roya del café de Honduras. En el primer boletín emitido por el comité se presentaron los resultados del primer muestreo nacional de roya realizado en el mes de abril del 2014. El muestreo detectó una incidencia de la roya a nivel nacional del 12% de inculo residual y 1% de severidad (Figura 1). Para el año 2014 se preveía una buena producción como resultado de dos floraciones muy importantes; entonces, tomando en cuenta que el cultivo se encontraba en el día 38 de la floración, así como las condiciones agrometeorológicas del momento y las previsiones para el ciclo productivo, se hicieron las siguientes recomendaciones:

- Realizar una primera aplicación preventiva para el control de la roya del café a partir del día 30 de abril y hasta el día 10 de mayo, con productos sistémicos de doble acción validados por el Ihcafé.
- Aplicar la segunda fertilización vía foliar (pos-floración) junto con el fungicida para el control de la roya.
- Mantener un nivel de sombra regulado en la plantación.
- Continuar con las podas en el cafetal.
- Realizar un adecuado control de malezas.
- Continuar con los muestreos de roya en el cafetal para monitorear los niveles de presencia de la enfermedad (Gobierno de la República de Honduras et al. 2014).

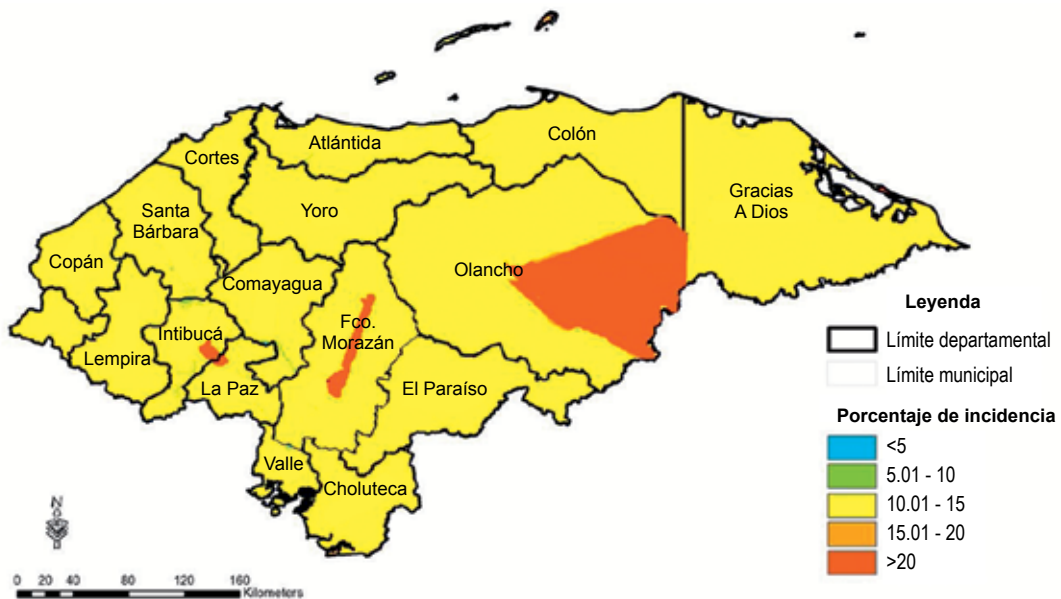


Figura 1. Mapa nacional de incidencia de la roya del café
Lectura realizada del 22 al 25 de abril, 2014.
Fuente: Gobierno de la República de Honduras et al. (2014).

Producto de los esfuerzos coordinados por Promecafé, en colaboración con los institutos nacionales del café en los países centroamericanos, instituciones regionales e internacionales de investigación, desarrollo y cooperación técnica y ministerios de agricultura, son evidentes los resultados que se están logrando en la región a partir del desarrollo y la aplicación del SAT para el control de la roya del café.

En los siguientes portales de internet podrá acceder y consultar información sobre los sistemas de alerta temprana para el control de la roya del café en Centroamérica:

Guatemala: Página principal de Anacafé

http://www.anacafe.org/glifos/index.php/P%C3%A1gina_principal

Boletín técnico de la roya publicado por Anacafé (abril 2015)

http://anacafe.org/glifos/images/4/4f/Manejo_Integrado_de_la_Roya2.pdf

Boletín Especial: Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de la Roya

<http://anacafe.org/glifos/images/6/61/Boletin-Especial-Abril2015.pdf>

Honduras: Página principal del Ihcafé
<http://www.ihcafe.hn/>

Acceso directo a la sección de boletines donde están los boletines del SAT para Honduras:
http://www.ihcafe.hn/images/BoletinT%C3%A9cnico%20nacional_05%20Honduras%20final.pdf

El Salvador: Acceso directo a la página de Procafé
<http://procafe.com.sv/menu/>

Programa de investigación de la roya del café de Procafé
<http://www.procafe.com.sv/menu/Investigacion/Roya.htm>

Costa Rica: Acceso directo a la página del Icafé
<http://www.icafe.go.cr/>

Acceso a los boletines del SAT:
http://www.icafe.go.cr/icafe/anuncios/roya/sistema_alerta_recomendacion_temprana/Actual/Seguimiento%20y%20recomendaciones%20Roya.pdf
http://www.icafe.go.cr/icafe/anuncios/roya/roya_del_cafe.html

7.4 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?

Para desarrollar una sesión con productores y productoras es recomendable que se retome el capítulo anterior sobre el diagnóstico de la enfermedad y se realice la práctica correspondiente. Además, se deben considerar los parámetros que se registran en las diferentes regiones en cuanto al clima, manejo del cultivo y monitoreo de incidencia y severidad de la enfermedad, los cuales sirven de base para el SAT y la toma de decisiones. La información debe compartirse con los productores y productoras para definir las acciones que deben implementar en el manejo del cultivo y prevenir los efectos de un brote fuerte de la enfermedad.

- Seleccione uno de los diagnósticos presentados en el Capítulo 6; desarróllelo junto con los participantes hasta obtener los porcentajes de incidencia y severidad de la enfermedad en el cafetal.

- A partir de los resultados encontrados, haga un análisis de la condición fenológica del cafetal. Es recomendable que esta sesión se realice en el primer mes después de la floración del café; así se podrá determinar el resultado de la floración y la cosecha esperada para ese año según la bionalidad del cultivo.
- Analice las variables ambientales: precipitación, humedad, y radiación solar, y los aspectos de manejo: estado de la sombra, poda y deshija, fertilización y control de plantas arvenses. A partir de este análisis se podrán obtener algunos resultados preliminares e inferir las prácticas que se debieran implementar para el manejo del cultivo durante los siguientes meses o ciclo productivo.
- Otra opción consiste en realizar sesiones de capacitación para presentar las informaciones y recomendaciones del SAT del país. Recuerde tomar en cuenta las especificidades de la región. Para los productores organizados que cuentan con acceso a internet se puede usar información más actualizada y completa. Aliénteles a consultar regularmente las fuentes de información disponibles.

Bibliografía consultada

- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdoba, SV). 2014. Taller de sistema de alerta temprana en roya del café a técnicos del CENTA. Consultado 10-12-2014. http://www.centa.gob.sv/index.php?option=com_k2&view=item&id=709:taller-de-sistema-de-alerta-temprana-en-roya-de-cafe%C3%A9-a-t%C3%A9cnicos-del-centa&Itemid=77
- Gobierno de la República de Honduras; Secretaría de Agricultura y Ganadería; OIRSA; Ihcafé, Servicio Meteorológico Nacional Honduras; Infoagro. 2014. Sistema de alerta temprana para la roya del café en Honduras. Comité Técnico Especializado del sistema de alerta temprana para la roya del café en Honduras. Boletín 01: 4 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas). 2013. Crean sistema de alerta temprana para la roya del café. Consultado 10-12-2014. <http://www.iica.int/Esp/prensa/IICAConexion/IICAConexion2/2013/N31/secundaria8.aspx>
- Hruska, A. 2014. Sistema de alerta temprana para la roya del café en Centroamérica. Propuesta presentada a la FAO. (Presentación power point: 30 imágenes).
- RPP Internacional Noticias. 2014. La FAO lanza herramienta tecnológica contra roya del café en Centroamérica. Consultado 10-12-2012. <http://rpp.pe/lima/actualidad/la-fao-lanza-herramienta-tecnologica-contra-roya-del-cafe-en-centroamerica-noticia-718797>
- Unesco; Comisión Europea; SICA; Cepredenac; Meduca. 2011. Manual sistemas de alerta temprana: 10 preguntas - 10 respuestas. Panamá. 60 p.

Capítulo 8. Buenas prácticas de prevención y control de la roya del café



Foto: Elias de Melo V.F.

La razón principal en la que se fundamenta el control de la roya del café consiste en la necesidad de proteger el follaje (hojas) durante el llenado del fruto. La hoja cumple una función fundamental en todas las etapas del cultivo ya que es el órgano que procesa los nutrientes para el mantenimiento, crecimiento y producción de la planta de café. En la etapa de producción es necesaria su presencia hasta 60 días después de la floración principal y hasta 30 días antes de la cosecha (Cenicafé 2011). Si el follaje de la planta de café se mantiene sano se asegura la cosecha del ciclo productivo y el desarrollo armónico del cultivo para las futuras cosechas.

Para lograr un manejo adecuado de una enfermedad se deben considerar los cuatro factores que determinan su aparición: hospedero, patógeno, ambiente y manejo agronómico del cultivo. Solo de esta manera se podrán romper o disminuir las interacciones entre ellos y retardar el desarrollo de una epidemia, ya sea retrasando su aparición o reduciendo su expansión (Cenicafé 2011).

En las siguientes secciones se presentan las buenas prácticas para el manejo y control de la roya, con referencia a las acciones o actividades que se están implementando en los diferentes países para el manejo y control de la enfermedad y la reactivación del sector cafetalero. Esta información proviene de los reportes que los países de la región han presentado en distintos foros nacionales y regionales. Además se incluye algunos aprendizajes del CATIE sobre el tema. Es alentador conocer que el conjunto de acciones planteadas contribuyeron a reducir la incidencia en varias zonas cafetaleras de la región; sin embargo, el riesgo de una nueva epidemia sigue latente, y muy probablemente se dará debido a la inestabilidad climática y las condiciones de las plantaciones en los países productores.

8.1 Manejo agronómico del cultivo de café

8.1.1 Poda y deshija del café

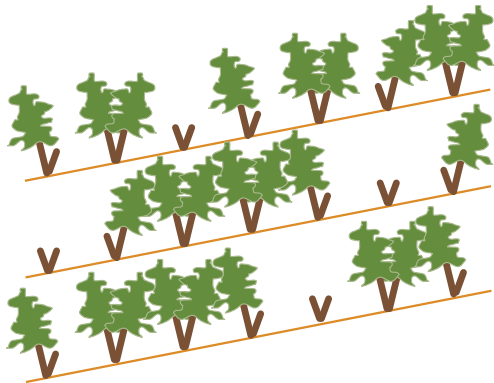
En Centroamérica, una de las limitantes que se han presentado en el cultivo del café es la edad avanzada de los cafetales. Según Anacafé (2013), el 60% de los cafetales de Guatemala tienen más de 15 años; en Panamá, de acuerdo a la información suministrada por MIDA (2013), el 61% del área cafetalera tiene más de 20 años de establecida y el 23% se encuentra entre los 11 y 20 años. En Costa Rica, de las 96.539 ha cultivadas, 14.592 ha (15,1%) requieren podas y 5140 ha (5,3%) requieren renovación; en ambos casos se refleja que el manejo del cultivo no ha sido el más apropiado y se evidencia el envejecimiento de las plantaciones (Icafé 2013). En El Salvador, el 10,5% (11.444 ha) del área de café no recibe el manejo mínimo adecuado (Procafé 2013).

Más adelante se discutirán las opciones para renovar los cafetales de Centroamérica con variedades más resistentes y productivas, este aspecto es determinante para afrontar los desafíos del presente y del futuro.

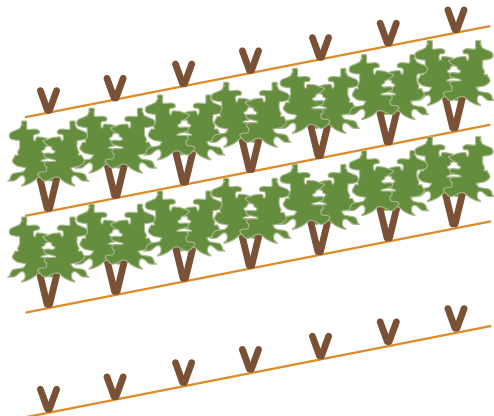
La poda del café debe realizarse después que finaliza la cosecha del grano, de preferencia en el periodo seco o de baja precipitación. El propósito de la poda del café es eliminar tejido enfermo, agotado y ramas quebradas para que la planta se renueve (Icafé 2011).

La planta de café inicia la producción comercial a partir del tercer año después de la siembra en el campo. No se ha determinado un momento preciso para iniciar la práctica de poda porque eso depende del manejo que se le dé al cultivo. La poda se debe realizar cuando se observe que la planta presenta signos de agotamiento, alrededor del tercer año de producción —es decir, a los seis años después de la siembra—.

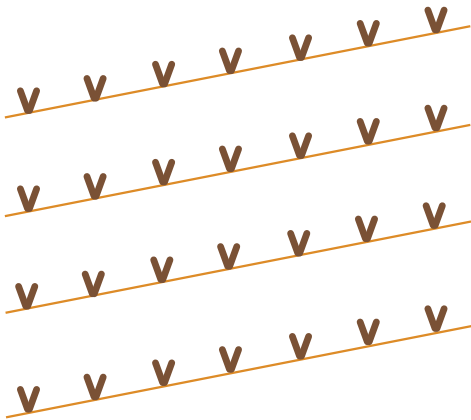
Hay varios sistemas de podas que se pueden aplicar al café; entre las más utilizadas están:



Poda selectiva: consiste en analizar la planta individualmente para determinar cuál o cuáles ramas están agotadas y/o enfermas y proceder a cortarla(s); así se mantiene la planta en un proceso constante de renovación.



Poda por calle: consiste en la poda total de las plantas de café en una calle (hilera), por lo general el agricultor decide el ciclo que desea aplicar que puede ser de tres, cuatro o cinco años. Se debe seguir un orden estricto al aplicar la poda. El objetivo de la poda por calle es crear un ciclo de podas y que se mantenga al menos el 66% de área de cultivo en producción.



Poda por lote: consiste en realizar la poda total de las plantas en un lote de café. El agricultor decide el área a podar en función de la extensión del cultivo y el estado fenológico del cafetal. Durante el periodo de recuperación de las plantas de café, el productor puede hacer uso de las entrecalles para sembrar otros cultivos de ciclo corto, como frijol, maíz, chile, tomate, y así disminuir los costos de mantenimiento del área ya que la venta del producto le puede generar ingresos por un periodo de dos años.

Después de la poda, principalmente al inicio de las lluvias, la planta de café reinicia su crecimiento y se activan una gran cantidad de yemas que producen muchos rebrotes o hijos. Ese es el momento de realizar la práctica de **deshija**, que consiste en seleccionar dos o tres rebrotes vigorosos, bien ubicados en el tronco de la planta y con buena distribución, los cuales serán las futuras ramas productivas. Todos los demás rebrotes se deben eliminar para disminuir la competencia y permitir que los brotes seleccionados se desarrollen vigorosos. La práctica de deshija por lo general se aplica dos veces al año; la primera dos o tres meses después de la poda y la segunda 2 o 3 meses después. Esto se hace porque, con la incidencia de la luz, muchas yemas se activan y continúan produciendo rebrotes.

La poda y la deshija contribuyen a mantener las ramas y hojas en crecimiento activo, mejoran la aireación dentro de cultivo y la distribución del espacio entre las plantas, promueven condiciones adversas para la roya del café como menor humedad relativa y mayor penetración de la luz solar que limitan el desarrollo de la enfermedad, y mejoran aprovechamiento de los productos que son asperjados sobre el follaje (Barquero Miranda 2013, Anacafé 2013, Icafé 2013, Ihcafé 2013, Magfor 2013, MIDA 2013, Sagarpa et al. 2013).

Después de la epidemia de la roya del café en el año 2012, las instituciones a cargo del sector cafetalero incentivaron fuertemente el uso de la poda como mecanismo de control de la enfermedad. Los gobiernos de los países asignaron recursos para realizar estas prácticas como medida para evitar una nueva epidemia (Anacafé 2013, Icafé 2013, Ihcafé 2013, Magfor 2013, MIDA 2013).

8.1.2 Fertilización

El manejo nutricional de las plantas desempeña un papel fundamental en el comportamiento del ciclo productivo del cultivo. Una buena nutrición proporciona los minerales que requiere la planta para realizar sus funciones metabólicas y fisiológicas. Por eso, es de fundamental importancia aplicar fertilizante (químico u orgánico o ambos) al café en sus diferentes momentos, y de acuerdo con los resultados de un análisis de suelo y/o foliar. Con la fertilización mejora el vigor de las plantas, se fortalecen sus mecanismos de defensa contra la roya, y se mantiene la capacidad productiva (Barquero Miranda 2013). Igualmente importante es revisar el diseño, composición y manejo de los árboles en asocio con el café, ya que ellos contribuyen con nutrientes complementarios al programa de fertilización. La sombra de baja densidad y/o con ausencia o mal manejo de árboles leguminosos (*Erythrina* spp., *Inga* spp., *Gliricidia sepium*) no aportan nutrientes complementarios en cantidades significativas. Una composición de sombra con exceso de maderables y frutales por el contrario, pudieran competir con el café por los nutrientes.

Por tratarse de un cultivo perenne, el café permanece en una misma área por largos periodos de tiempo. Como antes se mencionó, hay áreas de cultivo con edades superiores a los 20 años de establecidas, por lo que la planta siempre toma los mismos elementos del suelo aunque en proporciones diferentes. Se hace necesario, entonces, reponer de alguna forma los elementos extraídos por la planta; esa es la función de la fertilización. Otro proceso importante que se lleva a cabo en el suelo de un cafetal es la acidificación (pH), el cual hace que la planta no pueda aprovechar otros nutrientes del suelo. A medida que el suelo se acidifica, algunos elementos se fijan en las arcillas (por ejemplo el fósforo) o se produce un proceso de sustitución de elementos, la liberación de iones de hierro y aluminio, lo cual puede perjudicar a las plantas. Por ello es que se recomienda hacer enmiendas al suelo, como la aplicación de cal dolomita, carbonato de calcio u otras para disminuir la acidez del suelo (Icafé 2011). El uso de enmiendas orgánicas igualmente es muy importante para la corrección de la acidez de los suelos, así que indistintamente que sea una finca convencional u orgánica es muy recomendable incluir en el programa de fertilización los abonos orgánicos. Además de nutrientes, los abonos orgánicos son potencializadores de la biología del suelo, con lo que se mejora la estructura del suelo como soporte para una plantación más sana y productiva.

Al tratar de identificar las posibles causas que propiciaron la epidemia de la roya del café en el 2012, Avelino et al. (2015) encontraron que, aparte de las variaciones de clima que contribuyeron al desarrollo de la enfermedad, también se había reducido el manejo del cultivo debido a la disminución de los precios del café entre el 2011 y 2013. Al tener menos ingresos por la venta del café, los productores redujeron el manejo del cultivo y no aplicaron fertilización; como resultado, las plantas entraron en estado de desnutrición, lo que las hizo vulnerables al ataque de las enfermedades.

Las instituciones del sector cafetalero en Centroamérica insisten con los productores en la necesidad de dar una buena nutrición al cultivo. Muchas de esas instituciones disponen de laboratorios donde los productores pueden enviar las muestras de suelo y foliar para realizar los análisis. Icafé (2011) recomienda que, en caso de no poder hacer un análisis de suelo, se consideren al menos las características de los suelos de la región donde está ubicada la plantación y, a partir de esa información, se seleccione la fórmula de fertilizante y la cantidad a aplicar.

Durante los años de la epidemia, los institutos del café, junto con los gobiernos nacionales y ministerios de agricultura, apoyaron a los productores con fertilizantes para lograr una recuperación más rápida de los cafetales y reducir el impacto en la producción de la siguiente cosecha (Anacafé 2013, Icafé, 2013, Ihcafé 2013, Procafé 2013).

8.1.3 Sombra

El cultivo de café con sombra es una práctica común en Centroamérica. Se estima que en varios países de la región, más del 90% de los cafetales están en asocio con árboles. Los informes de acciones para enfrentar la roya del café, presentados por los países, en su mayoría señalan la necesidad de realizar un manejo adecuado de la sombra (MIDA 2013, Procafé 2013, Ihcafé 2013, Icafé 2013, Anacafé 2013).

Los árboles en asocio con café ofrecen grandes beneficios al cultivo: regulan el microclima dentro del cafetal, ya que el café es una planta sensible a cambios bruscos de temperatura; reducen la radiación y mejoran el balance hídrico; aumentan la humedad relativa dentro del cafetal; mejoran la fertilidad del suelo por el aporte de materia orgánica y, cuando se utilizan especies de la familia Leguminosae, aportan nitrógeno; reducen la erosión del suelos por la cobertura de la hojarasca y ramas que se depositan en el suelo (Icafé 2011).

Sin embargo, los beneficios relacionados con la regulación del microclima benefician también al hongo de la roya del café. Es por esta razón que el manejo de la sombra en el cultivo del café desempeña un rol fundamental para crear condiciones desfavorables para el desarrollo de la enfermedad y favorables para sus enemigos naturales.

Las recomendaciones técnicas para el manejo de la sombra, además del aporte de materia orgánica, tienen por objetivo posibilitar el paso de la luz solar que permita realizar fotosíntesis, pero sin exposición total de las plantas de café al sol. El manejo de la sombra está en función de la(s) especies que se utilicen para este propósito; por eso, la intensidad de poda de la sombra depende de factores como:

- Condiciones de luminosidad del lugar o región donde se ubique el cafetal.
- Pendiente del terreno.
- Régimen de precipitación de la región.
- Dirección y frecuencia del viento.
- Especie(s) de sombra presentes en el sistema de producción.
- Estructura de la copa de los árboles.
- Altura de la copa de los árboles (distancia entre el dosel de la planta de café y altura de la copa de los árboles de sombra).
- Disponibilidad de mano de obra y recursos en la finca.

El Icafé de Costa Rica recomienda que se realicen uno o dos arreglos de sombra por año (Barquero Miranda 2012). En términos generales, se puede hacer una poda de sombra al inicio de verano, después de la cosecha del café y otra al inicio del invierno. Durante el verano la plantación de café requiere más sombra por lo que no es recomendable descopas muy fuertes. Por otro lado, al inicio del invierno se requiere una mayor entrada de luz sobre la plantación. Una orientación básica es que en cada lugar se debe encontrar el mejor equilibrio en cuanto al asocio de los árboles para alcanzar el nivel de sombra adecuado. Se entiende como sombra adecuada una cobertura entre 30 y 55%, bien distribuida sobre el cafetal. En los lugares más nubosos y/o lluviosos es necesaria una sombra menos densa, y en lugares con periodos secos más largos se requiere más sombra; sin embargo no necesariamente se necesitan más árboles sembrados, sino una buena distribución y copas más abiertas. Al mantener al mínimo la cantidad de árboles se disminuyen los riesgos de competencia por el agua en momentos extremos de déficit hídrico. De manera general, es muy importante evitar, mediante podas y diseños adecuados, la superposición de sombra y/o que las ramas de los árboles se entrecrucen pues se reduce la entrada de luz sobre el café.

Otro aspecto determinante es la composición de la sombra. Es conveniente tener árboles de servicio (*Erythrina* spp., *Inga* spp., *Gliricidia sepium*), maderables y frutales. Los árboles de servicio brindan grandes beneficios al café; por eso se recomienda que la mayor cantidad de árboles sean de este tipo. Las investigaciones de CATIE han determinado una densidad de árboles de servicio de 150 a 250 árboles por hectárea como un rango adecuado. Los maderables con más de diez años no deben sobrepasar de 100 árboles por hectárea y entre 40 y 60 árboles por hectárea de frutales leñosos. Estas son indicaciones de referencia; la decisión final dependerá de las condiciones de clima, suelo, especies, diseños y manejos de los árboles y propósitos de los productores.



Ejemplo de poda regulada de *Erythrina* (poró) en asocio con árboles maderables en café.
Foto: Shaline Fernandes

8.2 Control genético del cultivo de café

La producción de café en los países de Centroamérica está basada en variedades y selecciones derivadas de las variedades antiguas de café: Typica y Bourbon. Entre las más representativas están Caturra, Catuai (producto del cruce entre Caturra y Mundo Novo) y Villa Sarchí (Bertrand et al. 1999). Estas variedades de café presentan características sobresalientes de alta capacidad de producción y porte bajo que facilita la cosecha del grano. Sin embargo, son muy susceptibles a la roya anaranjada del café.

Durante una serie de talleres nacionales realizados en el año 2013, los países centroamericanos informaron de las variedades actualmente en uso para la producción de café (Cuadro 1).

El CIFC realizó tres introducciones del híbrido de Timor (832, 2252 y 1343), las cuales han sido la base para los programas de mejoramiento genético de café y desarrollo de nuevas variedades con resistencia a la roya. La descendencia del híbrido de Timor ha sido ampliamente utilizada en programas de mejoramiento genético en países de América (Brasil, Colombia y Centroamérica), Asia (India) y África.

Cuadro 1. Variedades de café utilizadas en los países de Centroamérica y porcentaje del área cultivada en la producción de café

Guatemala	El Salvador	Honduras*	Nicaragua*	Costa Rica	Panamá
Bourbon (19%)	Bourbon (42%)	Typica	Caturra	Caturra y Catuaí (90%)	Arábigo (82%)
Caturra (38%)	Pacas (18%)	Bourbon	Catuaí rojo y amarillo	Otras variedades (10%)	Robusta (18%)
Catuaí (22%)	Bourbon/Pacas (26,3%)	Caturra	Bourbon		
Catimor (12%)	Pacas/Bourbon (5,9%)	Pacas	Pacas		
Pache (3%)	Variedades resistentes (5,7%)	Villa Sarchí	Catimor		
Típica (0,3%)	Menos frecuentes (2,1%)	Catuaí	Catrenic		
Pacamara (0,1%)		Lempira	Maracaturra		
Otras (5%)		Ihcafé 90	Typica		
Robusta (1%)		Parainema	Maragogype		
		Icatú	Pacamara		

*No hay información de área cultivada.

Fuente: Anacafé 2013, Procafé 2013, Ihcafé 2013, MAGFOR 2013, Icafé 2013, MIDA 2013.

Con la entrada de la roya del café (raza II) en Centroamérica, a finales de los años de 1970, y con el conocimiento de que la producción de café se fundamentaba en variedades susceptibles a la enfermedad, el CATIE y los gobiernos e instituciones miembros de Promecafé iniciaron acciones en busca de variedades que presentaran resistencia a la enfermedad. A partir de 1978 se establecieron decenas de ensayos, primero en el CATIE y luego en los países miembros de Promecafé (Echeverri y Fernández 1989). Como base, se utilizaron líneas descendientes del híbrido de Timor introducidas en generaciones F3 o F4; entre 1983 a 1986 se introdujeron de Brasil y Portugal varias descendencias del híbrido de Timor en generaciones F4 a F6 de retrocruzamientos con variedades comerciales: Catimor, Cavimor (Catuaí x Catimor), Sarchimor o Cachimor (Catuaí x Cavimor) (Figura 1). Producto de 12 años de investigación se liberó en Honduras la primera variedad Catimor con alta resistencia a la roya del café denominada “Ihcafé 90”; en 1995 Costa Rica liberó otro Catimor denominado “Costa Rica 95 (CR95)” y posteriormente en 1996 el MIDA de Panamá liberó la variedad “Mida 96” y en Honduras la variedad “Lempira 98”, las cuales son casi idénticas a la variedad CR95 (Bertrand et al. 1999).

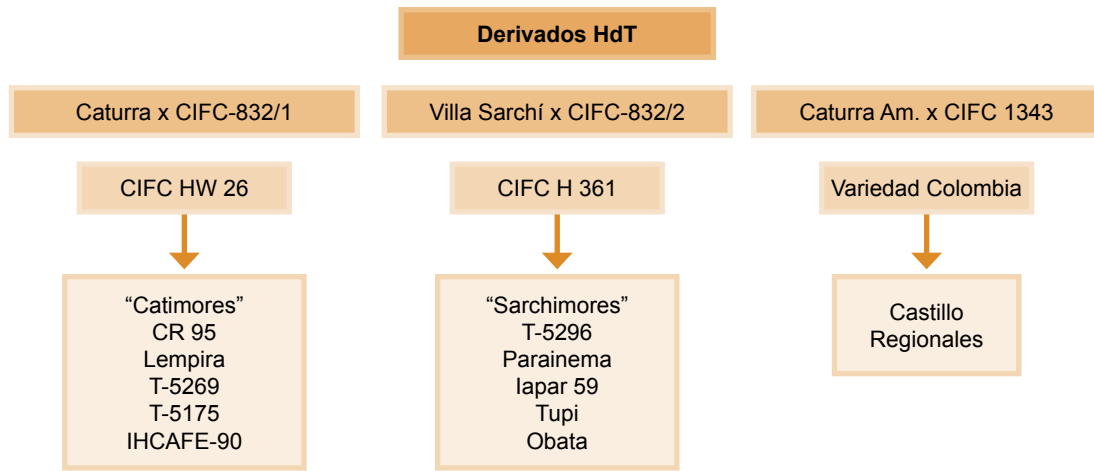


Figura 1. Esquema de mejoramiento genético desarrollado por el CIFIC de Portugal y la Universidad de Viçosa en Brasil para el desarrollo de variedades resistentes a la roya del café descendientes del híbrido de Timor
Fuente: Bertrand et al. (1999).

Producto de los trabajos de investigación realizados durante las décadas de 1980 y 1990 se liberaron variedades de café con resistencia a la roya, las cuales se encuentran a disposición de los caficultores de Centroamérica.

A mediados de la década de 1990, Promecafé, CATIE y CIRAD, junto con los institutos nacionales del café iniciaron el proyecto de mejoramiento genético para la producción de híbridos F1. Se realizaron cruces entre accesiones silvestres colectadas por la FAO en Etiopía en los años de 1960, las cuales se conservan en la colección de germoplasma de café del CATIE, con variedades comerciales (Caturra principalmente y catimores y sarchimores). Producto de este trabajo se seleccionaron 20 híbridos F1 que presentaban alta producción ($\geq 50\%$) respecto al testigo (variedad Caturra) y resistencia a la roya del café. Estos materiales se establecieron en una red de ensayos en Costa Rica y otros países de Centroamérica (Bertrand et al. 1999). Los resultados de los ensayos regionales permitieron seleccionar dos híbridos F1 que presentaron características sobresalientes en diferentes ambientes: alta producción, resistencia a la roya del café y buena calidad de taza. Mediante consulta a nivel regional, Promecafé nombró a los dos híbridos F1 seleccionados como **“Centroamericano”** y **“Milenio”**. Estos híbridos proceden del cruce de una variedad silvestre (Rume Sudan) con una variedad Sarchimor (T05296).

Ambos híbridos están siendo evaluados desde el año 2000 en dos sistemas agroforestales establecidos en la sede central del CATIE en Turrialba, Costa Rica, a 600 msnm, temperatura anual

promedio de 22,4°C y precipitación anual promedio de 2400 mm. El SAF es café bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* (poró); los ensayos son 'poró moderado convencional' y 'poró bajo orgánico'. Resultados de diez años de evaluación demuestran que los dos híbridos F1 presentan una producción superior a las variedades Caturra y CR95 durante el periodo de evaluación (Cuadro 2).

Las observaciones de campo en el ensayo de largo plazo con sistemas agroforestales con café en el CATIE evidencian que durante la primera década de estudio los híbridos F1 (Centroamérica, Milenio, L2A11, L3A17, L13A12, L3A15) han mantenido el nivel de resistencia/tolerancia a la roya. En estudio realizado entre enero y abril de 2010, Montenegro (2010) comparó la incidencia de plagas y enfermedades en manejo bajo orgánico y moderado convencional (Cuadro 3) para las variedades Caturra, Costa Rica 95 e híbridos F1. Las variedades CR95 e híbridos F1 presentaron los menores porcentajes de incidencia de roya y los mayores porcentajes de ojo de gallo.

Además, cada uno de los institutos nacionales del café tiene a la disposición de los productores diferentes variedades para hacer frente a la roya del café.

Cuadro 2. Productividad promedio (fan/ha=qq/ha) por variedad de café bajo dos sistemas agroforestales en CATIE, Costa Rica

Poró moderado convencional Sitio 2											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Promedio
Caturra	19,61	30,97	3,46	25,67	9,08	33,74	27,43	19,93	37,64	5,69	21,32
CR95	51,06	45,63	17,64	14,44	9,21	8,08	20,32	10,72	33,43	39,65	25,02
Centroamericano	91,04	75,17	35,58	27,54	46,04	23,54	47,88	41,75	51,67	24,76	46,50
Poró bajo orgánico Sitio 2											
Caturra	33,63	19,15	37,51	42,75	9,72	29,82	38,36	20,29	25,82	2,99	26,00
CR95	73,50	48,70	34,21	32,06	15,90	15,14	21,39	11,78	17,38	16,89	28,70
Centroamericano	76,21	78,63	43,63	33,83	35,38	17,63	42,08	10,63	17,50	15,42	37,09
Poró moderado convencional Sitio 3											
Caturra	16,79	31,75	2,75	34,86	22,76	30,54	31,22	30,35	34,06	10,79	24,59
CR95	62,17	70,84	15,75	51,68	45,96	28,60	42,01	34,07	51,50	28,96	43,15
Milenio	45,19	55,51	3,10	16,99	38,75	27,96	21,34	12,81	16,17	12,79	25,06
Poró bajo orgánico Sitio 3											
Caturra	18,09	33,51	13,33	42,47	11,83	22,94	21,56	21,47	19,71	2,61	20,75
CR95	34,71	75,57	17,67	70,64	34,21	27,95	42,64	23,79	35,62	24,79	38,76
Milenio	107,30	109,76	34,88	55,04	71,87	43,57	64,44	46,47	65,20	29,72	62,82

Cuadro 3. Incidencia de enfermedades y plagas (promedio y desv. estándar) en Caturra, Costa Rica 95 e híbridos F1 en ensayo de sistemas agroforestales en CATIE, Costa Rica (enero a abril de 2010)

Enfermedades/plaga	Variedades		
	Caturra	Híbridos F1	CR95
Roya	(8,8 ± 8,5) % (c)	(4,9 ± 7,2)% (b)	(3,5 ± 5,9) % (a)
Mancha de hierro	(14,7 ± 9,9)% (a)	(15,6 ± 10,5) % (a)	(14,8 ± 8,5)% (a)
Ojo de gallo	(6,7 ± 10,5)% (a)	(14,7 ± 17,1)% (b)	(14,0 ± 14,3% (c)
Antracnosis	(0,5 ± 1,0)% (a)	(0,5 ± 1,1) % (a)	(0,6 ± 1,0) % (a)
Minador	(0,3 ± 0,5)% (a)	(0,3 ± 0,6) % (a)	(0,3 ± 0,7)% (a)

Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)

Fuente: Montenegro (2010).

Anacafé, Guatemala: concentra sus esfuerzos en la variedad Anacafé-14, la cual fue seleccionada en la finca de un productor. Se trata de un catimor seleccionado por su resistencia a la roya anaranjada y alta producción; ha sido evaluada mediante parámetros agronómicos y ha mostrado ser superior a las variedades actualmente en uso (Promecafé 2013). Anacafé recomienda utilizar esta nueva variedad de café con semilla producida bajo la supervisión del instituto.

Procafé, El Salvador: recomienda el uso de las variedades Cuscatleco y Catisic; el instituto ofrece semilla y plantas de vivero a partir del 2014. También ofrece los híbridos F1 Centroamericano y Milenio como materiales con resistencia a la roya del café (Procafé 2013).

Ihcafé, Honduras: desde 1990 se ha venido incrementando el uso de variedades catimores con resistencia a la roya del café; entre ellas, Lempira, Ihcafé 90, Parainema e Icatú. También ofrece los híbridos F1 producidos en el marco de proyecto Promecafé-CATIE-CIRAD, y la variedad Catuaí que es susceptible a la roya (Ihcafé 2013).

Magfor, Nicaragua: el informe 2013 del Ministerio de Agricultura de Nicaragua hace referencia a las variedades de café que se encuentran en uso en Nicaragua, pero no menciona las variedades resistentes a la roya del café que recomienda para las nuevas siembras (Magfor 2013).

MIDA, Panamá: en su informe hace referencia al uso de las variedades Caturra y Catuaí para la producción de café en Panamá, sin embargo, no menciona si dispone de otros materiales evaluados o recomendados para incorporarlos a los sistemas de producción con resistencia a la roya anaranjada del café. La variedad Mida96 ha sido una opción valiosa.

Icafé, Costa Rica: en el 90% del área cultivada con café se utilizan las variedades Caturra y Catuai (Icafé 2013). El programa de mejoramiento genético que desarrolla el Icafé tiene en evaluación 17 variedades (sarchimores, cavimores y catimores) procedentes del Instituto Agronómico de Campinas, Universidad Federal de Viçosa (Brasil) y de la Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Echeverría Beirute 2013), las cuales han sido establecidas en un ensayo de evaluación para determinar su comportamiento agronómico y productivo (Cuadro 4).

El Cuadro 5 presenta los resultados de la evaluación en los ciclos productivos 2010-2011 y 2012-2013 de las 17 variedades. Las tres variedades de mayor producción son IAC-1669-20 (Obata), IAC 1669-13 (Tupí RN) e IAC Obata RC. De acuerdo con Echeverría Beirute (2013), la evaluación continúa ya que solo se dispone de dos ciclos de producción; la siguiente fase corresponde a las pruebas en diferentes regiones de producción de café en el país para determinar la capacidad de adaptación de los materiales seleccionados.

Cuadro 4. Variedades de café en proceso de evaluación por el Icafé, Costa Rica

Tratamiento	Introducción	Nombre de la variedad	Tipo
1	IAC1669-13	Tupí RN	Sarchimor
2	IAC 1669-33	Tupí	Sarchimor
3	IAC 4932	Obatã amarillo	Sarchimor
4	IAC 1669-20	Obatã	Sarchimor
5	IAC Obatã Amarillo	Obatã amarillo RL	Sarchimor
6	IAC Obatã RC	Obatã	Sarchimor
7	H419-3-4-6-14	H419-3-4-6-14	Cavimor
8	H419-10-6-2-5-35	H419-10-6-2-5-35	Cavimor
9	H419-3-3-7-16-4-1-1	H419-3-3-7-16-4-1-1	Cavimor
10	Acuã MG1332	Acuã MG1332	Sarchimor
11	Araponga MG1	Araponga MG1	Cavimor
12	Catiguã MG2	Catiguã MG2	Cavimor
13	Catiguã MG3	Catiguã MG3	Cavimor
14	Oeiras MG 6851	Oeiras MG 6851	Catimor
15	Pau Brasil MG1	Pau Brasil MG1	Cavimor
16	Paraíso MG H419-1	Paraíso MG H419-1	Cavimor
17	Sacramento MG1	Sacramento MG1	Cavimor

Fuente: Echeverría Beirute (2013).

Cuadro 5. Producción de 17 variedades de café en evaluación por Icafé de Costa Rica

Tratamiento	2010/2011	2011/2012	Promedio	Superioridad	
IAC 1669-20	133,74	123,56	129,68	109%	A
IAC 1669-13	139,02	107,89	119,67	93%	AB
IAC Obatã RC	111,64	111,29	112,47	81%	ABC
IAC Obatã amarillo	99,93	109,31	106,11	71%	BCD
Araponga MG1	95,99	106,87	103,59	67%	BCDE
H419-3-3-7-16-4-1-1	97,44	107,58	103,11	66%	BCDE
Catiguá MG3	96,58	107,93	102,82	66%	BCDE
Catiguá MG2	87,09	115,8	101,44	63%	CDEF
IAC 4932	91,48	115,32	101,2	63%	CDEF
IAC 1669-33	98,96	105,07	99,32	60%	CDEF
Paraíso MG H419-1	79,46	107,65	93,55	51%	DEFG
Pau Brasil MG1	93,6	91,44	92,52	49%	DEFG
H419-10-6-2-5-35	63,33	111,25	88,96	43%	DEFGH
Oeiras MG 6851	94,04	82,8	87,93	42%	EFGH
Sacramento MG1	70,07	95,88	83,79	35%	F GH
H419-3-4-6-14	70,88	79,95	75,85	22%	GHI
ACUÃ MG1332	59,51	100,5	74,2	20%	HI
Caturra Testigo	71,90	52,27	62,09	0%	I
Catuai (testigo)	79,22	48,39	58,54	-6%	I

Fuente: Echeverría Beirute (2013).

A partir de la información aportada por los institutos del café y los ministerios de agricultura de los países se ha venido trabajando para enfrentar la roya del café. En Centroamérica existen variedades y/o materiales con resistencia o tolerancia a la roya que han demostrado su capacidad de producción respecto a las variedades tradicionales. Un aspecto que se debe evaluar es la calidad de la bebida de estas variedades, ya que se ha indicado que la calidad de tasa de las variedades provenientes del híbrido de Timor no es tan buena. Sin embargo, los catimores y sachimores no siempre presenta problemas de calidad y algunas veces han sorprendido al ganar algunas competencias de tasa de excelencia y obtener altos puntajes en cataciones a ciegas, comparados con variedades reconocidas por su calidad.

La combinación de al menos dos variedades (con resistencia y/o tolerancia a roya y ojo de gallo por separado) en lotes distintos en las fincas es una estrategia clave, ya que ninguna variedad es resistente a diferentes enfermedades.

8.3 Control químico del cultivo de café

El control químico de la roya del café fue una de las primeras herramientas utilizadas desde el ingreso de la enfermedad a Centroamérica debido a que las variedades cultivadas en los países son susceptibles a la enfermedad. Se ha realizado mucha investigación respecto a los fungicidas que se pueden utilizar para el combate a la enfermedad; sin embargo, el uso de fungicidas protectores ha sido la norma general ya que no ha habido ataques fuertes ni frecuentes, y los pocos que se han presentado han sido muy localizados.

La base racional para el manejo químico de la roya del café involucra la fenología de la planta, para lo cual se requiere entender e identificar los periodos de mayor susceptibilidad y los factores de manejo que más impactan en la enfermedad (Sagarpa et al. 2013). La incidencia de la roya se incrementa en los meses correspondientes al desarrollo y maduración del fruto y en la época de cosecha. En marzo-abril del siguiente año hay un descenso por condiciones de clima adverso al hongo, caída de hojas durante la cosecha, vientos de la estación seca y defoliación inducida por la enfermedad. Por lo tanto, el momento oportuno para empezar con la aplicación de fungicidas es antes de que se inicie la estación de lluvias (Sagarpa et al. 2013).

Uno de los primeros productos utilizados en el control de la roya del café fueron los fungicidas a base de azufre; sin embargo, los resultados fueron poco satisfactorios (Barquero Miranda 2013b). Nuevos ensayos demostraron que los fungicidas a base de cobre ofrecían mejores resultados en el control de la roya. Estos fungicidas se clasifican como fungicidas protectores o de contacto; es decir que no ingresan al interior de los tejidos vegetales en donde se aplica. Su modo de acción consiste en cubrir el tejido vegetal formando una barrera de protección. Los fungicidas a base de cobre actúan sobre las esporas del hongo mediante el bloqueo de los procesos de respiración, producción de proteínas y debilitamiento de la membrana celular (Barquero Miranda 2013b).

También se ha venido trabajando en el estudio de fungicidas sistémicos; es decir, fungicidas que ingresan y se movilizan dentro de los tejidos de la planta por donde circula el agua y los nutrientes. A estos se les conoce como fungicidas curativos porque tienen la capacidad para detener las infecciones del hongo desde dentro de la planta, atacando la infección en las etapas tempranas del desarrollo de la enfermedad.

El grupo de fungicidas denominados **triazoles** son los que han mostrado mejor actividad en el control de la roya. Estos fungicidas inhiben la formación de una sustancia esencial para el hongo llamada **ergosterol** (Barquero Miranda 2013b). En el grupo de los triazoles se encuentran los siguientes fungicidas: Tebuconazole, Difenconazole, Epoxiconazole, Cyproconazole, Triadimenol, Propiconazole, Tetraconazole y Flutriafol² (Zambolin 2013).

Más recientemente ha surgido un nuevo grupo de fungicidas sistémicos para el control de la roya del café denominado **estrobilurinas**, cuyo modo de acción consiste en inhibir la **respiración de la mitocondria de la célula**. Entre los fungicidas que pertenecen a este grupo están: Piraclostrobina, Azoxystrobina, Trifloxystrobina, Picoxystrobina y Kresoxim-methyl (Zambolin 2013).

Para la producción de café orgánico de países de América Central están disponibles en el mercado productos autorizados para el control de la roya. Un ejemplo son los productos a base de Sulfato de Cobre (“Caldo Bordeles”, 1kg/200 litros de agua), cobre (4 oz/bomba de 20 litros) y extracto de plantas.

Para el control químico de la roya del café es necesario que el productor realice un monitoreo del estado de la enfermedad en el cafetal antes de decidir el tipo de control que aplicará (protector o curativo). Barquero Miranda (2013b) señala que si el monitoreo de incidencia de la roya en el cafetal es menor al 10%, se debe hacer uso de fungicidas protectores (cúpricos), mientras que si el nivel de infección es superior al 10% debe hacerse uso de fungicidas sistémicos (curativos). Los fungicidas protectores son inefectivos en casos de infecciones fuertes.

Los institutos nacionales del café y los ministerios de agricultura de los países centroamericanos hacen énfasis en la necesidad de emplear control químico para el control de la roya del café. Además, insisten en el uso de prácticas culturales apropiadas y frecuentes (ver acápite 8.1 y Capítulos 4 y 5). El personal técnico que brinda asistencia técnica maneja con detalle los nombres de los productos y las formulaciones que se deben aplicar al café, así como el calendario de aplicación. En términos generales, la recomendación es que la primera aplicación para el control de la roya del café debe realizarse después de la primera floración, y está por lo general ocurre con el inicio de la estación lluviosa.

La eficiencia de los fungicidas protectores depende de las condiciones del clima, ya que con las lluvias el producto se va lavando. Es recomendable hacer uso de surfactantes para una mejor adherencia y cobertura del producto sobre la superficie de las hojas. Asimismo, es necesario

2 Se indican los nombres técnicos ya que los nombres comerciales pueden ser varios y variar de país a país o entre regiones de un país.

realizar varias aplicaciones del producto para mantener un control más eficiente de la enfermedad; la frecuencia de aplicación depende de las condiciones del ambiente e incidencia de la enfermedad.

Cuando se hace uso de fungicidas sistémicos para el control de la roya, Zambollin (2013) recomienda aplicar una mezcla de fungicidas (triazoles y estrobilurina) con el propósito de evitar que las poblaciones de *Hemileia vastatrix* desarrollen resistencia. El Cuadro 6 se presenta los fungicidas sistémicos (nombres técnicos) y las dosis recomendadas de aplicación; se omiten los nombres comerciales porque estos pueden variar entre países y regiones.

Los fungicidas que contienen ingredientes activos pertenecientes al grupo de los triazoles y estrobilurina se comercializan juntos, por lo que el productor no necesariamente tiene que adquirir los dos productos por separado para hacer la mezcla. En el comercio se pueden encontrar en la formulación comercial preparada para su aplicación.

Otros aspectos relacionados con el control químico de la roya del café tienen que ver con el equipo de aplicación. Tanto para fungicidas protectores como curativos, se deben emplear equipos de aplicación bien calibrados, con la boquilla de aplicación apropiada. El operario debe

Cuadro 6. Fungicidas sistémicos y protectores recomendados para el combate de la roya del café

Nombre técnico	Grupo de fungicida	Gramos y/o ml/litro	kg y/o ml/200 en litros
Óxido de cobre	Protector	2,5-3,5 g	0,5-07 kg*
Hidróxido de cobre	Protector	2,5-3,5 g	0,5-07 kg*
Oxicloruro de cobre	Protector	4,5-5,0 g	0,9-1,0 kg*
Propiconazol	Triazol (Sistémico)	1,25 ml	250 ml
Triadimenol	Triazol (Sistémico)	1,25 ml	250 ml
Tebuconazol + Triadimenol	Triazol + Estrobilurina (Sistémico)	1,75 ml	350 ml
Cyproconazol + Carbendacin	Triazol + Estrobilurina (Sistémico)	1,25 ml	250 ml
Cyproconazol + Pyraclostrobin	Triazol + Estrobilurina (Sistémico)	2,50 ml	500 ml
Cyproconazol + Trifoxistrobin	Triazol + Estrobilurina (Sistémico)	1,50 ml	300 ml

*Dosis indicada para aplicar a cada 0,5 ha de área del cafetal.

Fuente: Elaborado a partir de Zambollin (2013) y Barquero Miranda (2013).

asegurarse de realizar una buena cobertura del follaje (en particular debajo de las hojas). Esto cobra especial importancia para la aplicación de fungicidas protectores, puesto que estos no se movilizan a través de planta; por ello, el tejido debe quedar bien cubierto, de lo contrario queda la posibilidad de tener áreas foliares sin protección a la enfermedad.

El control de la roya del café debe ser una estrategia conjunta donde interactúen las prácticas culturales, el control genético de mediano y largo plazo y el control químico. Con la aplicación de prácticas culturales apropiadas contribuimos a crear condiciones adversas para el desarrollo de la enfermedad y, en consecuencia, se hará un menor uso de productos químicos (fungicidas) para controlar la enfermedad. Es obvio que esto significa no solo beneficios para el ambiente y la salud humana, sino también para el bolsillo del productor.

El control químico de la roya, sea en agricultura convencional u orgánica, debe ser aplicado siguiendo las recomendaciones técnicas y con los equipos de protección adecuados una vez que todos, en un mayor o menor grado, implican riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Para conocer más detalles sobre métodos de diagnóstico ver el documento “**Compilado sobre Medidas de Control de la Roya del Cafeto**” elaborado por el Proyecto Roya CATIE-CIRAD-PROMECAFE/NORUEGA (Solicitar a <http://bibliotecaorton.catie.ac.cr/>).

8.4 ¿Cómo desarrollar una sesión con productores?

Para desarrollar una sesión con productores y productoras, el personal técnico y/o promotor deberá realizar una sesión integral ya que los aspectos contenidos en este capítulo articulan las diferentes prácticas que deben realizarse para ejecutar un programa de prevención y control de la roya del café.

A continuación se proponen las actividades que el técnico y/o promotor deben integrar durante la sesión:

- Seleccione una parcela dentro de la finca del productor que sea representativa del sistema de producción de la región. Considere si es posible seleccionar una parcela con café bajo sombra y otra a plena exposición solar.
- Prepare una sección para realizar el diagnóstico del estado del cultivo de café. Allí se deberá evaluar:

- El estado general de las plantas de café: follaje, altura de plantas, número de ramas por planta, penetración y distribución de la luz, aireación (circulación de aire); presencia de ramas agotadas, enfermas y quebradas que requieran poda, o si la poda se realiza siguiendo criterios técnicos.
- Analice junto con el productor los aspectos que pueden ser mejorados mediante prácticas culturales que contribuyan a mejorar el estado de las plantas y la sanidad fitosanitaria del cafetal.
- Analice el sistema de producción. Preste atención a los aspectos siguientes:
 - Si el sistema de producción está a pleno sol, dialogue acerca de las ventajas y desventajas y de la conveniencia del uso de sombra. Explique los efectos de la luz directa sobre la fisiología de la planta y las condiciones para el desarrollo de la roya del café.
 - Si el sistema de producción es bajo sombra, analice las condiciones de sombra: ¿Está bien regulada? ¿El sistema está muy expuesto (poca sombra)? ¿Es necesario realizar algunas prácticas para mejorar la entrada de luz? ¿Es necesario proveer mejores condiciones de sombra? Analice la relación entre los aspectos fisiológicos de la planta de café y la sombra, así como las condiciones que favorecen y/o limitan el desarrollo de la roya
 - Junto con los participantes, haga el diagnóstico de incidencia de la roya. Se recomienda emplear alguno de los métodos que se presentan en el Capítulo 6; sin embargo, por facilidad de ejecución y por el número de observaciones que se deben realizar en campo se sugiere utilizar el método CATIE (Virginio Filho et al. 2009).
 - A partir de los resultados de incidencia de la roya del café, y si es posible determinar el grado de severidad del ataque, proceda a analizar los resultados con los productores y decidir el método de control químico que se aplicará (fungicidas protectores o curativos) y/o control orgánico, así como el plan de manejo complementario.
 - Junto con los participantes, realice la práctica de control químico de la roya y/o control con productos orgánicos. Antes de la práctica revise el estado y calibración del equipo.

Bibliografía consultada

- Anacafé (Asociación Nacional del Café, GU). 2013. Situación de Guatemala. *In* Taller Nacional sobre la roya del café [Memoria. Ciudad de Guatemala. 20 ago 2013]. Presentación power point.
- Avelino, J; Cristancho, M; Georgiou, S; Imbach, P; Aguilar, L; Bornemann; G; Läderach, P; Anzueto, F; Hruska, J; Morales, C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. Food Sec. DOI 10.1007/s12571-015-0446-9. Published online (11 March). 19 p.
- Barquero Miranda, M. 2012. La roya del café requiere atención y control. *Revista Informativa Icafé I*: 10-12.
- Barquero Miranda, M. 2013a. Las variaciones climáticas en el incremento inusual de la roya del café. *Revista Informativa Icafé I*: 1-7.
- Barquero Miranda, M. 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del café. 3 ed. San José, Costa Rica, Icafé. 63 p.
- Bertrand, B; Aguilar, G; Santacreo, R; Anzueto, F. 1999. El mejoramiento genético en América Central. *In* Bertrand, B; Rapidel, B. (Eds.). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica, IICA, Promecafé, CIRAD. p. 407- 456.
- Cenicafé (Centro Nacional de Investigaciones de Café, CO). 2011. La roya del café en Colombia: impacto, manejo y costos del control. Caldas, Colombia. 52 p.
- Echeverri, JH; Fernández, CE. 1989. The Promecafé program for Central America. *In* Kussalapa, AC; Eskes, AB. (Eds.). Coffee rust: epidemiology, resistance and management. Boca Ratón, Florida, EE.UU. ISBN 0-8493-6899-5. 337p.
- Echeverría Beirute, F. 2013. Estudios recientes sobre materiales resistentes a la roya del café en Costa Rica. *In* Simposio sobre la roya del café [Memoria. Turrialba, Costa Rica, UCR, Sede del Atlántico. 10-11 jul 2013]. sp. Presentación power point.
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2013. Plan de acción contra la roya del café y otras plagas en fincas de familias productoras. *In* Taller Seguimiento al Plan Regional (Promecafé-SICA-CAC) y Nacional (Magfor) para el control de la roya del café [Memoria. Managua, Nicaragua. 14 jun 2013]. Presentación power point.
- Icafé (Instituto del Café de Costa Rica). 2011. Guía técnica para el cultivo del café. Heredia, Costa Rica. Icafé-Cicafé. 72 p.
- Icafé (Instituto del Café de Costa Rica). 2013. Situación de la roya en Costa Rica: Seguimiento al plan para el control de la enfermedad. *In* Taller Seguimiento al Plan Regional (Promecafé-SICA-CAC) y Nacional (Icafé-MAG-SFE) para el control de la roya del café [Memoria. Heredia, Costa Rica. 20 mayo 2013].
- Ihcafé (Instituto Hondureño del Café). 2013. Impacto de la roya del café en Honduras. *In* Taller Seguimiento al Plan Regional (Promecafé-SICA-CAC) y Nacional para el control de la roya del café. [Memoria. San Pedro Sula, Honduras. 28 jun 2013]. Presentación power point.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2013. Plan de emergencia nacional fitosanitaria (roya, ojo de gallo y broca del café). *In* Taller Seguimiento al Plan Regional (Promecafé-SICA-CAC) y Nacional (MIDA) para el control de la roya del café. [Memoria. Ciudad de Panamá. 24 mayo 2013]. Presentación power point.
- Montenegro, PA. 2010. Monitoreo fitosanitario y productivo de sistemas agroforestales en café (*Coffea arabica*) (CR95, Caturra y F1), amarillón (*Terminalia amazonia*), cashá (*Chloroleucon* sp.) y poró (*Erythrina poeppigiana*) bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Ing. Forestal. Cartago, Costa Rica, ITCR.

- Procafé (Fundación para las investigaciones del café, SV). 2013. Avances sobre acciones técnicas para el control de la roya del café en El Salvador. *In* Taller Seguimiento al Plan Regional (Promecafé-SICA-CAC) y Nacional para el control de la roya del café. [Memoria. San Salvador, El Salvador. 8 jul 2013]. Presentación power point.
- Promecafé (Programa Regional para la protección y modernización de la caficultura en Centroamérica y Panamá). 2013. Boletín N° 134. Enero – Marzo. 15 p.
- Promecafé; SICA; CAC. 2013. Plan de acción con medidas inmediatas 2013. Programa integrado de combate a la roya del café y recuperación de la capacidad productiva en Centroamérica. 16 p.
- Sagarpa (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, MX). 2013. Ficha técnica roya del café *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. 28 p.
- Virginio Filho, E. de M; Barrios, M; Toruño, I. 2009. ¿Cómo podemos mejorar la finca cafetalera en la cuenca? Una guía de apoyo a procesos de reflexión-acción-reflexión participativos con familias productoras y promotores técnicos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 70 p.
- Virginio Filho, E. de M. 2013. Ensayo de sistemas agroforestales con café: más de una década de resultados pioneros en el mundo: algunas conclusiones sobre enfermedades, con énfasis en roya (*Hemileia vastatrix Berk et Br.*). *In* Simposio sobre la roya del café [Memoria. Turrialba, Costa Rica, UCR, Sede del Atlántico. 10-11 jul 2013]. sp. Presentación power point.
- Zambollin, L. 2013. Controle químico da ferrugem do cafeeiro. *In* Simposio sobre la roya del café [Memoria. Turrialba, Costa Rica, UCR, Sede del Atlántico. 10-11 jul 2013]. sp. Presentación power point.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Estado de Acre en Brasil.



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo



ISBN: 978-9977-57-655-8



9 789977 576558