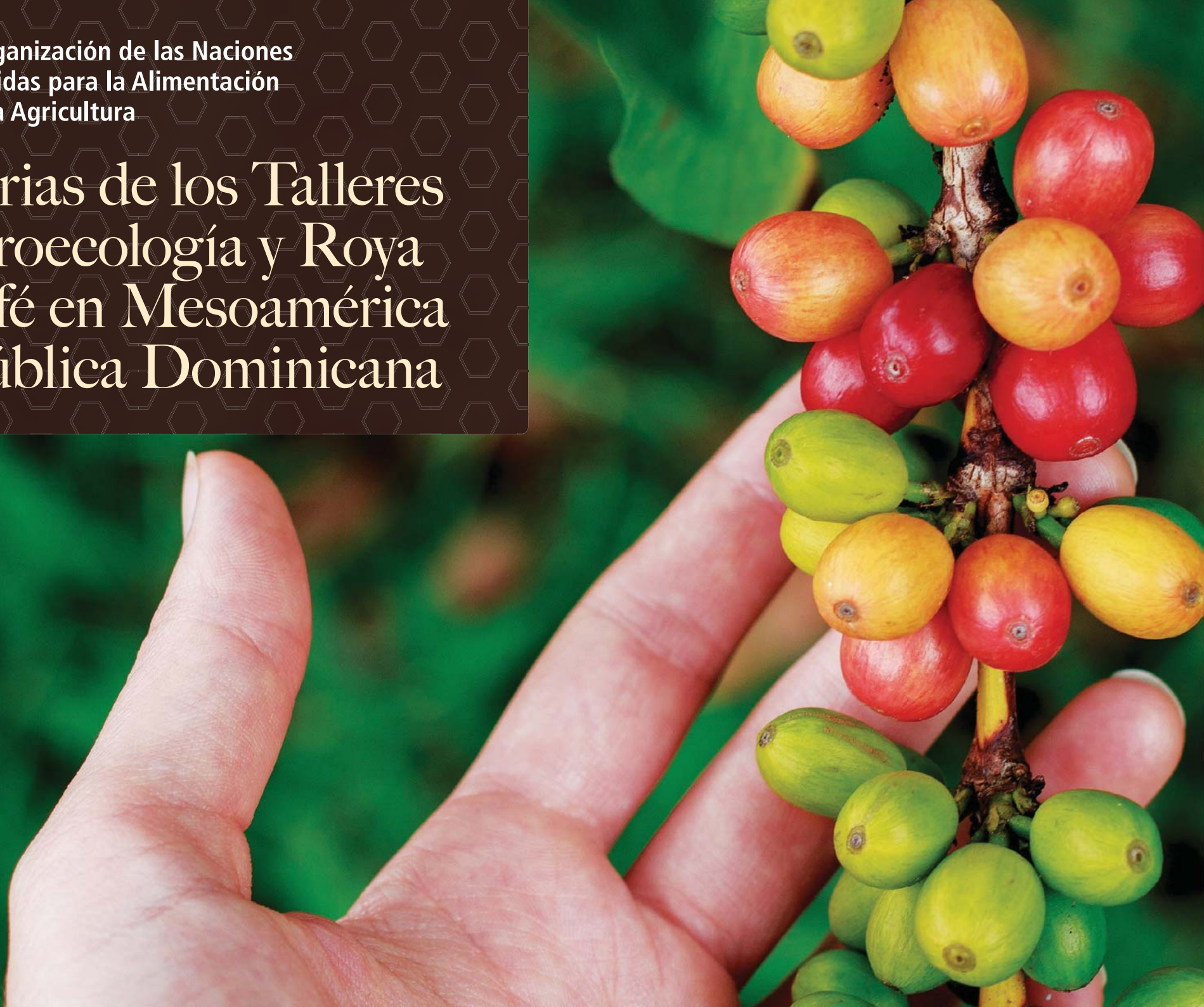




Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Memorias de los Talleres de Agroecología y Roya del Café en Mesoamérica y República Dominicana



Memorias de los Talleres de Agroecología y Roya del Café en Mesoamérica y República Dominicana

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-309889-7

© FAO, 2017

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, imprimir y descargar el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO aprueba los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org. Esta publicación ha seguido unas pautas sostenibles para su impresión, con productos específicos que garantizan el mínimo impacto ambiental y promueven el uso sostenible de los recursos.

Índice

Prólogo.....	VII
Agradecimientos.	VIII
Introducción.....	1
Participantes.....	2
1. Breve introducción a la agroecología y la producción sostenible de café.	3
2. Nutrientes minerales y control de enfermedades de plantas.....	5
3. Cómo diferenciar las deficiencias nutricionales en el cultivo del café de la sintomatología causada por los factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos.	9
4. Adaptación del café al Cambio Climático.....	16
6. Estudio de la epidemiología y de los periodos de incubación y de latencia de roya del cafeto en El Salvador.....	28
7. La roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>): variabilidad patogénica y las estrategias de manejo de la enfermedad en Cuba.....	35
8. Microbiomas y control biológico de la roya anaranjada del cafeto.....	42
9. Avances y resultados sobre el manejo agroecológico y roya en el cultivo del café, en la región Huista, Huehuetenango, Guatemala.	48
10. Aplicación de bioplaguicidas (<i>Beauveria bassiana</i>) y fertilización orgánica en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L): Experiencia del Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua 2013-2014.....	55
11. Importancia de la biodiversidad en los agroecosistemas.	63

Índice de figuras, tablas, gráficos e ilustraciones

Gráfico 2.1. Camino para síntesis de lignina y fenoles	8
Gráfico 3.1. Evolución de la temperatura media anual Cobán, Guatemala	10
Gráfico 3.2. Evolución de la precipitación anual en San Marcos, Guatemala	10
Gráfico 3.3. Evolución de la velocidad del viento en (Labor Ovalle, Quetzaltenango, Guatemala) . . .	10
Figura 3.1. Hoja de café con síntomas de carencia de fósforo.	11
Figura 3.2. Hojas de café afectadas por roya.	12
Figura 3.3. Planta de café atacada por el "mal rosado"	13
Figura 3.4. Cereza de café con síntomas de "grano negro"	14
Figura 4.1. Algunas acciones para la adaptación de la caficultura al cambio climático.	17
Ilustración 4.2. Diferentes doseles y niveles de sombra para el cultivo de café.	18
Gráfico 5.1. Conjunto completo de los 50 puntos de control para fincas cafetaleras.	20
Gráfico 5.2. Esquema general para evaluar las buenas prácticas agrícolas mediante la metodología del sistema de semáforo.	21
Gráfico 5.3. Esquema de una gerencia de las prácticas agrícolas, únicamente, para cumplir con las exigencias del mercado europeo.	22

Gráfico 5.4. Esquema de una gerencia de las prácticas agrícolas de la empresa cafetalera con ética y responsabilidad social, ambiental, empresarial y profesional.	22
Tabla 5.1. Estándar de los componentes en cada pilar y la situación idónea de las Buenas Prácticas Agrícolas en cafetales.	25
Gráfico 6.1. Precipitación (cm) y porcentaje de hojas enfermas durante el estudio epidemiológico de la roya del cafeto en finca María José.	29
Gráfico 6.2. Precipitación (en cm) y porcentaje de hojas enfermas en finca Santa Clemencia, Santa Ana.	30
Gráfico 6.3. Precipitación (cm) y porcentaje de hojas enfermas durante el estudio epidemiológico de la roya del cafeto en finca San Pedro.	31
Gráfico 6.4. Incidencia de roya en diferentes estratos altitudinales de El Salvador.	32
Tabla 6.1. Fincas participantes en el estudio.	32
Tabla 6.2. Resultados de incubación y latencia de la roya en distinto estrato altitudinal.	33
Gráfico 7.1. Tetraedro epidemiológico en el patosistema <i>H. vastatrix</i> - <i>Coffea spp.</i>	38
Ilustración 8.1. Cafetal en manejo agroecológico. Panamá	44
Ilustración 8.2. Muestras de cultivos de hongos endófitos aislados en hojas de café en Panamá.	45
Figura 9.1. Socios trabajando en la biofábrica.	49
Figura 9.2. Trabajo en biofábrica de Guatemala.	50
Tabla 9.1. Producción de productos orgánicos en las 18 biofábricas de los grupos de café de los Huista	51
Ilustración 9.3. Cafetal de cultivo agroecológico en Guatemala	53
Ilustración 9.5. El productor Jesús López en su cafetal. Guantán, Huehuetenango, Guatemala.	54

Tabla 10.1. Información sobre las características generales del municipio de Las Sabanas, Madriz, Nicaragua.....	56
Gráfico 10.1. Distribución de las áreas productivas en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua	57
Gráfico 10.2. Conocimiento de los productores sobre la existencia de <i>B. bassiana</i> en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua.....	58
Gráfico 10.3. Satisfacción de los productores sobre la eficiencia de <i>B. bassiana</i> sobre la broca del café en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua.....	58
Gráfico 10.4. Comparación de tipos de controles implementados por los productores sobre la eficiencia de <i>B. bassiana</i> en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz.....	59
Gráfico 10.5. Absorción de nutrientes y peso del grano de café, bajo fertilización orgánica y convencional. El Castillito, Las Sabanas, Madriz Nicaragua.	60
Gráfico 10.6. Comportamiento de variables reproductivas en café, bajo fertilización orgánica y convencional. El Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua.....	61



Prólogo

El objetivo de esta publicación es mostrar algunas aportaciones del manejo agroecológico al cultivo de café. Los textos recogidos son una muestra de los trabajos y ponencias presentados en los talleres de “Agroecología y roya del café en Mesoamérica”, llevados a cabo en siete países centroamericanos, a lo largo de los años 2015 y 2016, organizados por la Oficina Subregional de la FAO para Mesoamérica, en el marco del proyecto “Fortalecimiento en la Región Mesoamericana de la resiliencia de la agricultura familiar, a través de la prevención y respuesta efectiva frente a enfermedades fito y zoo-sanitarias”

La agroecología se basa en aplicar conceptos y principios ecológicos con el fin de optimizar las interacciones entre las plantas, los animales, los seres humanos y el medio ambiente, teniendo en cuenta, al mismo tiempo, los aspectos sociales que deben abordarse para lograr un sistema alimentario justo y sostenible. Mediante la creación de sinergias, la agroecología pretende restaurar los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, que son esenciales para una agricultura sostenible. Puede asimismo desempeñar una función importante en el fomento de la resiliencia y la adaptación al cambio climático, integrando tanto tecnologías actuales como los aprendizajes de los sistemas tradicionales tan implantados en las culturas mesoamericanas.

Los documentos presentados en esta memoria, son contribución de diferentes instituciones y organismos públicos y privados en diferentes países del continente, que trabajan en el ámbito de la agroecología y del café. Se espera que la información y experiencias descritas ayuden a un mejor conocimiento del manejo agroecológico en el cultivo de café, y de las ventajas a nivel económico, social y ambiental que aporta.

Los temas tratados van desde el concepto de agroecología, la importancia de la nutrición mineral, la agroecología en la lucha contra las enfermedades, y en particular de la roya del café que tanto daño y consecuencias ha tenido en Mesoamérica, y en general sobre la producción sostenible del café, ejemplificados con algunos casos de estudio, como la finca sustentable de “La herradura”, o manejo agroecológico para combatir la roya del café, en la región Huista, Huehuetenango, Guatemala.



Agradecimientos

Queremos agradecer por su aporte al mejor conocimiento y comprensión de la agroecología en el cultivo de café, a los autores que participaron en los talleres de “Agroecología y Roya del Café en Mesoamérica”, y que luego aportaron sus contribuciones en los textos aquí recogidos. Agradecemos igualmente al personal de la Oficina Subregional de la FAO para Mesoamérica, que de manera directa o indirecta colaboró con esta publicación, en especial a Elaine Acosta, y a las representaciones de la FAO en cada uno de los países dónde se celebraron los talleres, que tan diligentemente contribuyeron al buen desarrollo de los encuentros.





Introducción

Los talleres de “Agroecología del Café” se han desarrollado en la región centroamericana y República Dominicana, con el fin de generar un espacio para el intercambio de conocimientos relacionados a las distintas alternativas, herramientas técnicas y metodológicas referidas al manejo agroecológico en el cultivo de café y su uso para el combate a la roya del café.

Estos talleres, a través de los conocimientos de los ponentes, quieren contribuir a que se avance en cada país de un manejo tradicional del cultivo, basado en el uso de agro-químicos, hacia un manejo más sostenible, en armonía con el ambiente y con la cultura local.

Objetivo de los talleres de agroecología y café en Centroamérica¹

Presentar los trabajos científicos realizados en los últimos años en la región, sobre el manejo agroecológico de la roya del café.

- Dar a conocer opciones de manejo y control no químico de la roya del café, a diferentes actores de la subregión, de manera que puedan contar con herramientas técnicas sobre las formas de manejo del cultivo del café con bajo o nulo uso de productos químicos.
- Intercambiar experiencias entre los diversos actores presentes en cada uno de los países, para fortalecer las capacidades nacionales y subregionales en el manejo agroecológico de la roya, para contribuir a reducir la incidencia y severidad de la roya en los países que conforman la subregión centroamericana.
- Promover la investigación en el tema de la agroecología como alternativa para el control de la roya del café.

1. En este documento, cuando se habla de Centroamérica, se incluye a República Dominicana, dentro del marco de integración del Sistema de Integración Centroamericano (SICA)





Participantes

Los participantes en los talleres son personal de los ministerios de agricultura y de los institutos del café de la región, ingenieros agrónomos y extensionistas, personal de centros educativos y de investigación, públicos y privados, caficultores, asociaciones de productores de café, organizaciones no gubernamentales, productores con experiencia en manejo agroecológico, entre otros actores.

El intercambio de experiencias entre los diversos participantes ha favorecido el fortalecimiento de las capacidades nacionales en el manejo agroecológico de la roya, gracias al intercambio de información y de experiencias relacionadas con la agroecología del café, tanto por participantes de otros países como México, Brasil, Colombia o Cuba.

Memoria resumen de los talleres

Esta publicación presenta una sinopsis de los trabajos y ponencias sobre agroecología del café ofrecidos en los talleres, confiando que sean de utilidad a los distintos actores que trabajan por el desarrollo sostenible del cultivo de café en Mesoamérica.

Los talleres se realizaron en:

Quetzaltenango, Guatemala, 22 y 23 de septiembre de 2015.

Managua, Nicaragua, 8 y 9 de octubre de 2015.

Boquete, Chiriquí, Panamá, 19 y 20 de octubre de 2015

San José, Costa Rica, 26 y 27 de octubre de 2015

Santo Domingo, República Dominicana, 29 y 30 de octubre 2015.

San Salvador, El Salvador, 19 y 20 de noviembre 2015.

La Fe, Ilama, Santa Bárbara, Honduras, 25 al 27 de noviembre de 2015.





1 Breve Introducción a la Agroecología y la Producción Sostenible de Café

Gabriela Soto²

Durante los últimos sesenta años en el sector agrícola, la productividad ha sido prioritaria por encima de todos los otros servicios ecosistémicos. El rol de una finca de café, era solo producir café, sin entender que en esa finca también se debería producir agua limpia, mantener el suelo sano, almacenar dióxido de carbono (CO₂), proteger la biodiversidad, regular la temperatura, etc. Tal vez deberíamos revisar la forma en que producimos café, y plantear que las fincas de café, como todo agroecosistema del planeta, deben cumplir múltiples funciones para la sobrevivencia de la humanidad, además de producir fibras y alimentos.

A lo largo del tiempo, el concepto de agroecología, se ha ido ampliando:

- La agroecología es la ciencia de aplicar conceptos y principios ecológicos al diseño, desarrollo y manejo de sistemas de agricultura sostenible. (Stephen Guzmán, 1978).

- Es la disciplina científica que se acerca al estudio de la agricultura con una perspectiva ecológica. (Miguel Altieri, 1983).
- Agroecología es la aplicación de la ecología en todo el sistema de producción de alimentos, incluyendo aspectos sociales, económicos y ambientales. (Francis et al.³, 2003).

Principios agroecológicos en la producción de café

La biomasa: en la economía de los ecosistemas, las monedas son el carbono y la energía capturados en la biomasa. La inversión de la naturaleza en producir cualquier tejido vegetal (una hoja, una cáscara de banano, un saco de café cereza) debe ser aprovechado al máximo por el agroecosistema. Las redes tróficas más complejas son más eficientes en el flujo de los recursos. En el suelo por ejemplo, si al

2. Consultora de Committee on Sustainability Assessment (COSA), Costa Rica

3. Francis et al. 2003. The ecology of food system

descomponerse una hoja, es aprovechada por las bacterias, que a su vez alimentan a amebas y nematodos, que luego son comidos por ácaros, el aprovechamiento del tejido de la hoja es mucho mayor. Toda la biomasa que la finca produce debe ser aprovechada. De esta forma los residuos del procesamiento de café nunca pueden considerarse un desecho. Por el contrario son un valioso recurso que debe ser reutilizado en el cafetal. Igualmente, las malezas o arvenses, son recursos que la finca debe manejar y promover para aprovechar todo espacio que tiene la finca, para producir biomasa, que luego debe ser reciclada en la finca.

- **La materia orgánica en el suelo:** no solo es fundamental para secuestrar carbono, sino también para sobrellevar las sequías y las inundaciones. Un suelo con más materia orgánica favorece la infiltración de agua, permitiendo una mayor aireación para la vida del suelo y las raíces. Existen varias formas de aumentar la materia orgánica en el suelo: las arvenses, los árboles de sombra, el compostaje, etc.
- **La redundancia:** se entiende como la capacidad de los organismos de un sistema de realizar la misma función ecológica. Por ejemplo, la polinización pueden hacerla los murciélagos, las abejas, las aves, otros insectos, etc. Los descomponedores de materia orgánica pueden ser los escarabajos, pero también bacterias, hongos, colémbolos, ácaros, etc. De tal forma que si alguna población de organismos desaparece, quedan muchos otros que pueden cumplir la misma función, y el equilibrio no se pierde. La pérdida de redundancia disminuye la resiliencia de un ecosistema. La ecología funcional divide los organismos en “gremios funcionales”, según la función que realizan, como un gremio de carpinteros, o un gremio de agricultores. Están unidos por la función que realizan. Por ejemplo los árboles del

cafetal se podrían dividir en aquellos que son buenos para el suelo como las leguminosas, o los que son buenos para dar frutos como cítricos. Por eso al seleccionar los árboles de sombra del cafetal, deben pertenecer al menos a cinco gremios que ayuden al ecosistema: mejorando el suelo, en el reciclaje del agua, buenos para los pájaros, para el café, etc.

- **Resiliencia:** es la capacidad de un agroecosistema de absorber perturbaciones sin que se afecte su funcionamiento y su estructura, una vez que la perturbación ha terminado. Los cafetales, deben tener la capacidad de recuperarse de una sequía, de un exceso de agua, de un ataque de roya. La biodiversidad ayuda a la resiliencia del cafetal, ésta será mayor si cuenta con diferentes variedades de café, diferentes tipos de árboles de sombra, arvenses, etc.

Los cultivos de café a pleno sol producen más, pero no se obtienen beneficios en el agrosistema. Sin embargo, si se siembra el café bajo sombra controlada, siendo la ideal entre el 40% y el 50%; se puede optar, en aquellos países donde se está aplicando, al pago de servicios ambientales por fijación de dióxido de carbono, que además son más elevados en el caso de los sistemas orgánicos que en los sistemas convencionales.

Cada práctica de manejo que se haga en la finca de café debería servir para al menor producir cinco servicios ecosistémicos: abono orgánico, más productividad, reciclar nutrientes, limpiar agua, regular sequía y fijar carbono. Hay que incentivar la agricultura regenerativa, produciendo mientras se mejoran los suelos.

Es importante recordar que la agroecología tiene un enfoque transdisciplinario, participativo y orientado a la acción, que abarca las ciencias sociales, la ecología, la agronomía, y el conocimiento local y tradicional.

2. Nutrientes Minerales y Control de Enfermedades de Plantas

Adelia Aziz Alexandre Pozza con la colaboración de Edson Ampélio Pozza⁴

La mejor comprensión de las funciones de los nutrientes en el control de enfermedades de las plantas cultivadas, ya que facilitará, a través del manejo, la reducción del impacto ambiental causado por el uso indiscriminado de pesticidas.

Las enfermedades de las plantas se inician con la interacción entre el patógeno, el hospedero y el ambiente. El patógeno por sí solo no causa enfermedad, debe haber un hospedero susceptible al agente patogénico y un ambiente favorable a la ocurrencia de la enfermedad. El hombre puede manipular y actuar directa o indirectamente en la mayoría de las fases de la enfermedad, modificándolas.

Se pueden seleccionar poblaciones de patógenos por ejemplo aplicando el mismo principio activo de fungicidas durante varios años. El hombre también puede modificar la resistencia de los hospederos a las enfermedades eligiendo, por ejemplo, variedades más resistentes a la roya, o utilizando quiebra vientos para evitar la *phoma*, o evitando la introducción de materiales y maquinarias contaminadas

de otros cultivos, entre otros por ejemplo con nematodos. Además, se puede actuar sobre el ambiente para no favorecer a los patógenos, y aumentar la resistencia de las plantas. El ambiente por tanto es un componente relevante en esta interacción, pudiendo inclusive impedir la ocurrencia de la enfermedad aún en presencia de hospedero y patógeno.

El desarrollo y la producción de una planta dependen de su genotipo y de las condiciones ambientales que puedan actuar sobre sus características. Factores asociados al clima (humedad, temperatura, luz y viento), al suelo (nutrientes y pH) y al manejo del cultivo (trasplantes, podas, uso de pesticidas) pueden ser responsables de la predisposición de las plantas a los patógenos.

La humedad o agua en el suelo es la forma más determinante en la predisposición de las plantas al ataque de agentes patogénicos. El exceso de agua y la inundación del suelo disminuyen la disponibilidad de oxígeno para las raíces, comprometiendo su desarrollo

4. Profesora de la Universidad Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciencia del suelo, Brasil

y consecuentemente la absorción de agua y nutrientes. Como resultado las plantas se tornan más susceptibles a los patógenos del suelo, como a las pudriciones de los géneros *Pythium*, *Phytophthora* e *Rhizoctonia*. El exceso de agua en el suelo puede también aumentar la succulencia de los tejidos facilitando la penetración y colonización de los patógenos, y puede también provocar alteraciones estructurales en las hojas, como la reducción en el grosor de la cutícula e imperfecciones en el tejido parenquimático tornando las hojas más sensibles a la penetración de los patógenos. La deficiencia hídrica y la sequía por otro lado, resultan en subdesarrollo de las plantas. El hospedero mal desarrollado tiene menor resistencia al ataque de patógenos. Además, el agua es un vehículo a través del cual las plantas consiguen absorber los nutrientes

La reducción de las enfermedades de las plantas requiere por tanto el suministro constante del agua, buena fertilidad del suelo y una buena nutrición mineral de los cafetales en armonía con el ambiente para garantizar la sostenibilidad del agroecosistema.

Nutrición mineral

La nutrición mineral es la forma como las plantas utilizan los nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Las cantidades necesarias de cada nutriente son variables, pero todos ellos son igualmente importantes. Con fines didácticos, los elementos esenciales pueden ser clasificados en macro y micronutrientes:

Los **macronutrientes** son los elementos básicos necesarios en mayor volumen para las plantas, siendo: carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), extraídos del aire y del agua, y nitrógeno (N), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) obtenidos del suelo, bajo condiciones naturales.

Los **micronutrientes** requeridos en pequeñas cantidades son: boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), zinc (Zn), cloro (Cl), cobalto (Co) y níquel (Ni).

Y también se pueden clasificar según los “**criterios de esencialidad**”.

- Criterio directo: el elemento participa de un compuesto de la planta.
- Criterio indirecto: con su ausencia, la planta no completa el ciclo.

La nutrición mineral se torna un factor ambiental fácilmente manipulable y muy útil en el control de enfermedades, pues participa secundariamente de rutas metabólicas para producción de compuestos fenólicos, flavonoides, taninos, quinonas y ligninas, que son las defensas de la planta (o fungicidas naturales) contra los patógenos. Es necesario conocer como los nutrientes aumentan o disminuyen la resistencia de las plantas a las enfermedades. En principio, todos los nutrientes influyen de una forma u otra la intensidad de las enfermedades, pudiendo aumentar o reducir esa intensidad. El nitrógeno, por ejemplo, fue relatado su efecto en la reducción de enfermedades en 168 casos y en el aumento en 233 casos. El calcio ha reducido 66 enfermedades y las ha aumentado en 17 casos. El silicio por otro lado, aunque no sea considerado esencial y sí benéfico, aún no fue relatado por aumentar enfermedades, siempre que los demás nutrientes han sido suministrados en cantidad correcta. Ya en 1840, Justus von Liebig escribe que un nutriente por menor que sea su demanda o exigencia por parte del cultivo, en caso de deficiencia, la planta no completará su ciclo. La planta necesita de todos esos elementos para obtener su máxima producción.

Así pasa con los cafetales, los nutrientes y el agua, si falta alguno de ellos, habrá reducción en la producción o en la susceptibilidad a los patógenos debido a la alteración de sus barreras de defensa.

¿Cómo los nutrientes disminuyen las enfermedades?

- Las plantas con pared celular, cutícula y capa de cera más gruesas dificultan la germinación y la penetración de los patógenos, formando barreras. Algunos nutrientes, calcio (Ca), boro (B) y silicio (Si), están directamente involucrados en la composición de barreras de resistencia, *pre-formadas*

como capa de cera, pared celular con más lignina y celulosa, o *post-formadas* como fenoles, taninos, quinonas, flavonoides, las cuales surgen cuando se inicia la infección.

- Los nutrientes influyen en el mantenimiento de compuestos solubles dentro de la célula. La membrana plasmática, que es la envoltura permeable de la célula, responsable de entradas y salidas de sustancias de las células, debe mantener en el interior del citoplasma, los compuestos como aminoácidos y carbohidratos de bajo peso molecular, pues, estos compuestos, cuando están en el apoplasto, son absorbidos por los patógenos favoreciendo la infección.
- Aumentando la suberización, silificación y lignificación de tejidos tornando las plantas más firmes y resistentes.
- Aumentando la síntesis y la acumulación de compuestos fenólicos, que son fungicidas naturales producidos bajo condiciones de ataque de patógenos.
- Disminuyendo la apertura de estomas (potasio), para patógenos que penetran por esa vía.

Mecanismo de acción de los nutrientes en el control de enfermedades

- Alteraciones en el vigor de las plantas, plantas más vigorosas y con más follaje favorecen el microclima más húmedo lo que puede facilitar la penetración de patógenos, como la roya, que necesitan de agua para germinar.
- Actuando en la tasa de crecimiento del hospedero - plantas más vigorosas están generalmente mejor nutridas y producen más hojas y raíces para escapar de los patógenos.
- Formación de nuevas raíces – P, N, y Ca – cuando el patógeno coloniza una raíz u hoja surgen otras rápidamente, para resistir al ataque.
- Actuación directa sobre los patógenos - Los nutrientes pueden actuar directamente sobre la nutrición del patógeno, es el caso del zinc por ejemplo, que puede inhibir el crecimiento

“in vitro” de la bacteria *Xanthomonas axonopodis*.

Ejemplos del efecto de algunos nutrientes en pato-sistemas agrícolas

Los patógenos requieren de un ambiente y un hospedero específico para poder multiplicarse. Es la relación ambiente-hospedero la que el ser humano intenta modificar con el fin de reducir su propagación; esta modificación se puede realizar mediante la nutrición mineral. La nutrición mineral es un factor ambiental que incide directamente en la resistencia de las plantas a las enfermedades, por lo que la falta de algún nutriente perjudica el desarrollo normal de la planta.

Algunos efectos de los nutrientes en las plantas son:

Nitrógeno: crecimiento vigoroso, retarda la maduración, es esencial para la producción de aminoácidos, proteínas, hormonas de crecimiento, fitoalexinas y fenoles. Todo esto resulta en la producción de tejidos jóvenes y suculentos. Inversamente, la deficiencia de nitrógeno aumenta la susceptibilidad al patógeno.

Potasio: genera una resistencia a la penetración y colonización de patógenos, además activa más de sesenta enzimas e incrementa la recuperación de lesiones.

Calcio: mejora la división y elongación celular y el crecimiento radicular. Es absorbido solamente por raíces nuevas y es constituyente de la pared celular. Encalar neutraliza los excesos de aluminio y manganeso, eleva el pH, reduce el exceso de cobre, etc.

En trabajos realizados en la *Universidad Federal de Lavras* en Brasil, han verificado la reducción de la roya con dosis adecuadas de N, K y Ca.

Silicio: realiza un papel análogo al de la lignina, creando una barrera física contra patógenos, además mejora la interceptación de la luz.

Zinc: promueve la síntesis de triptófano y la actividad ribonucleica.

Boro: una baja concentración de boro crea paredes finas en la célula, así como una menor lignificación, y por tanto una menor barrera física contra los patógenos.

Cobre: una baja concentración disminuye la lignificación de los tejidos; mientras que una concentración adecuada induce una resistencia de éstos debido al aumento en la síntesis de compuestos fenólicos.

Manganeso: una baja concentración afecta la síntesis de lignina. Al contrario, una alta concentración compite con la cal y el magnesio disminuyendo la estabilidad.

Por lo tanto se concluye que las plantas con una nutrición desequilibrada son más susceptibles a enfermedades. El uso y manejo de nutrientes de forma equilibrada ha demostrado ser una alternativa viable en el control de enfermedades de plantas. Como muestra, la reducción de la mancha aureolada *Pseudomonas syringae* pv. *Garcae* en vivero con el suministro adecuado del manganeso (Mn) y de flúor pulverizados en las plántulas de café.

Los micronutrientes Zn, B, Cu y Mn actúan directamente en la formación de barreras de resistencia formadas después de la ocurrencia de la infección.

Conclusiones

Las plantas con nutrición desequilibrada son más susceptibles a las enfermedades, que las que están nutricionalmente equilibradas.

- Es imposible generalizar los efectos de un nutriente en particular, sobre las combinaciones patógeno – hospedero. Un único nutriente no controla todas las enfermedades, ni inmuniza todas las plantas. Un nutriente puede reducir algunas enfermedades y aumentar otras en un mismo cultivo.
- El uso y manejo de nutrientes de forma equilibrada han demostrado ser alternativa viable en el control de enfermedades de plantas. Sin embargo, existe la necesidad de llevar a cabo más investigación en distintas condiciones edafoclimáticas procurando conocer el comportamiento

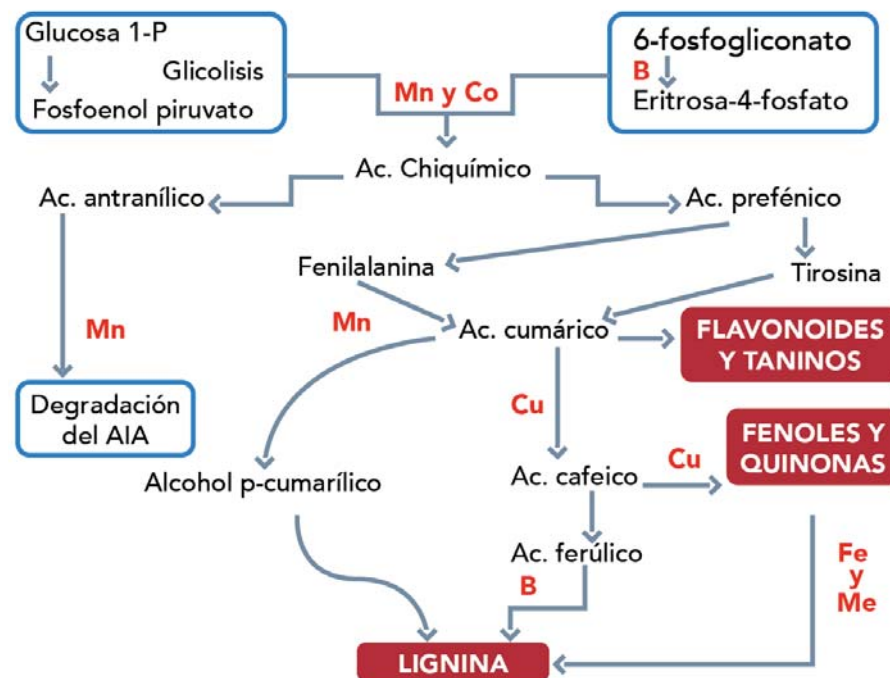


Gráfico 2.1. Camino para síntesis de lignina y fenoles
(Graham Y Webb; 1991)

de las enfermedades en diferentes niveles, fuentes y combinaciones de nutrientes.

- Finalmente la clave para el éxito depende del análisis de la situación del agricultor (técnica, política y económica) y de la unión de las medidas de manejo.

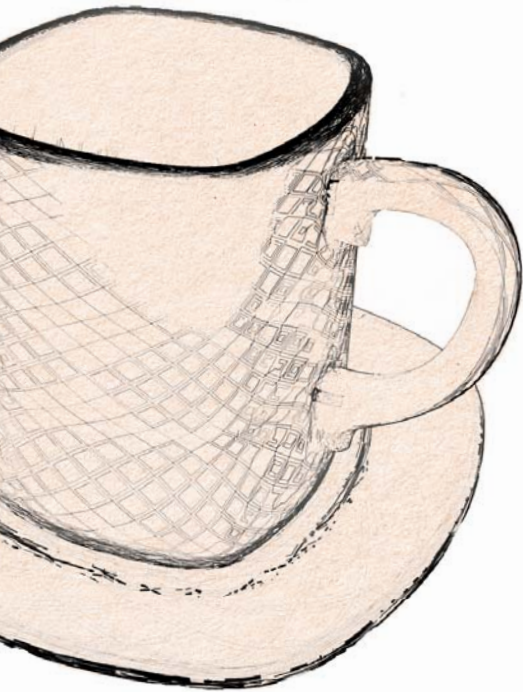
3. Como Diferenciar las Deficiencias Nutricionales en el Cultivo del Café de la Sintomatología Causada por los Factores Bióticos (Plagas y Enfermedades) y Abióticos

Mario Enrique Chocooj Pop⁵

En los últimos años, las variaciones del clima han provocado cambios en algunos procesos fisiológicos de las plantas, siendo el café una de ellas.

Los gráficos siguientes evidencian como en algunas zonas de Guatemala, la temperatura ha tenido un incremento significativo, la precipitación ha mostrado variaciones en volumen y la velocidad del viento tiende a aumentar en el transcurso del tiempo.

Además, dichas variaciones también han generado condiciones ambientales para que algunas plagas y enfermedades tengan un crecimiento significativo, provocando daños a nivel de las plantas y por ende generando pérdidas económicas. Debido a los cambios ya mencionados, la planta de café como ser vivo, manifiesta ciertas sintomatologías, las cuales a menudo generan confusión sobre el origen de las mismas. Ante tal situación es importante conocer la sintomatología que causan los factores bióticos y abióticos, así como las deficiencias nutricionales en el cultivo del café.



5. Investigador/Monitoreo de Roya del Centro de Investigaciones en Café – Anacafé, Guatemala

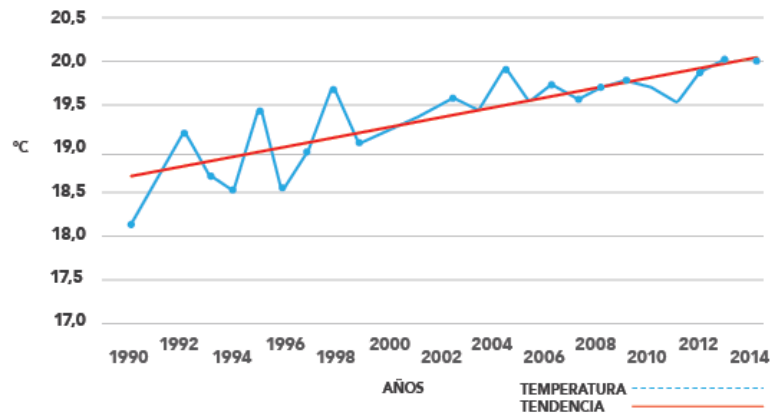


Gráfico 3.1. Evolución de la temperatura media anual Cobán, Guatemala (1990 – 2015)

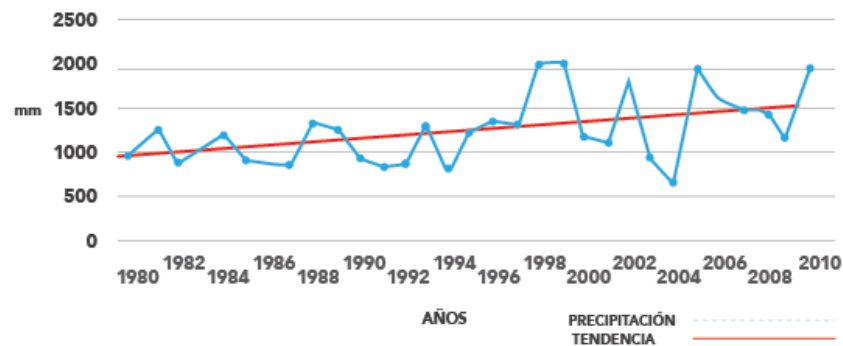


Gráfico 3.2. Evolución de la precipitación anual San Marcos, Guatemala (1980 – 2010)

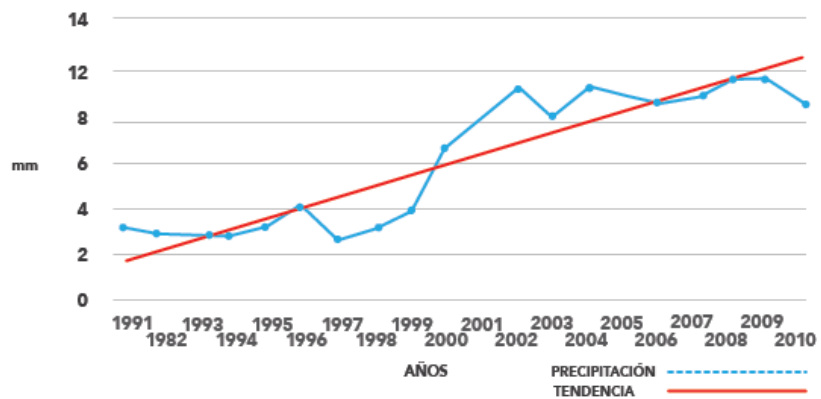


Gráfico 3.3. Evolución de la velocidad del viento.
Labor Ovalle, Quetzaltenango, Guatemala (1991 – 2010)
Fuente: a partir de datos aportados por INSIVUMEH

Síntomas de deficiencia de algunos elementos en el cafeto

El conocimiento de la función de cada uno de los nutrientes en la nutrición del café permite reconocer la importancia de mantener, ya sea en el suelo y/o a través de tejido foliar, niveles adecuados de éstos, para contribuir a la obtención de buenas cosechas de alta calidad. Cuando alguno de los elementos no se encuentra disponible, o los niveles son muy bajos, la planta manifiesta deficiencias que pueden distinguirse visualmente. A continuación, se da una breve descripción de las principales deficiencias.

Nitrógeno: su deficiencia se ve en la pérdida uniforme del color verde, que vira a verde claro, a verde amarillento o a amarillo, en las hojas nuevas y adultas. El nitrógeno se moviliza muy bien en la planta.

Fósforo: la insuficiencia se aprecia en manchas rojizas o pardo rojizas en las hojas adultas y viejas. El fósforo se moviliza bien en la planta.

Potasio: su falta produce color bronceado y muerte del tejido en los bordes de las hojas adultas y viejas, con límites bien marcados. Es muy móvil en la planta.

Calcio: su deficiencia se traduce en pérdida del color verde, en forma de una palidez muy leve, en los bordes de las hojas nuevas. El calcio es poco móvil en la planta.

Magnesio: la deficiencia se muestra con manchas y moteado pardo-amarillento, en los espacios entre las venas de hojas adultas y viejas. El magnesio se moviliza bien en la planta.

Azufre: si falta, se da pérdida del color verde normal en las hojas de la punta de la rama hacia atrás. El azufre se moviliza bastante bien en la planta.

Zinc: su deficiencia hace que las hojas nuevas y jóvenes se muestran pequeñas y angostas, con pérdida de color, resaltando el verde de las venas. Las hojas se agrupan en forma de rosetas por acortamiento de los nudos de la rama. Se da achaparramiento del cafeto y producción de frutos pequeños. El zinc se moviliza poco en la planta.



Figura 3.1. Hoja de café con síntomas de carencia de fósforo.
©FAO/Chocooj Pop

Boro: su deficiencia provoca la muerte de las yemas terminales de las ramas. Aparece gran número de brotes que le dan a la punta de la rama una apariencia de “palmilla”. Las hojas nuevas se deforman. El boro se moviliza muy poco en la planta.

Hierro: su deficiencia provoca decoloración de las hojas nuevas y jóvenes, a verde claro y verde amarillento, resaltando el color verde de las venas. Las hojas mantienen su tamaño normal. El hierro es poco móvil en la planta.

Manganeso: su deficiencia hace que las hojas nuevas y jóvenes pierdan su color, resaltando el color verde de las venas, a veces con

franjitas verdes difusas a lo largo de ellas. Las hojas tienden a ser más grandes. El manganeso se moviliza poco en la planta.

Cobre: debido a su deficiencia, las hojas presentan nervaduras salientes (costillas), clorosis leve y manchas pardas asimétricas. Las hojas más jóvenes aparecen distorsionadas, con una forma de "S", por falta de crecimiento de los nervios y pierden su color verde.

Molibdeno: si hay deficiencia, inicialmente se desarrollan manchas amarillas cerca de los márgenes y se tornan amarillo-pardas y necróticas, primero en el centro. Desde la parte central sucede un rozamiento de las hojas, de manera que los lados opuestos se tocan por debajo.

Cloro: la literatura no reporta sintomatología por deficiencia de cloro, lo que hace suponer que las cantidades existentes en la mayoría de los suelos agrícolas son suficientes.

Sintomatología provocada por plagas y enfermedades (factores bióticos)

Algunas plagas y enfermedades también generan sintomatologías particulares, para ello se describen a continuación las principales afecciones del café.

Roya del caféto - *Hemileia vastatrix* Berk & Br.

Los síntomas de esta enfermedad se presentan como manchas de tono verde pálido o verde amarillo en el haz de las hojas; en el envés son manchas anaranjadas, (cuerpos fructíferos del hongo). Las hojas severamente atacadas se desprenden del árbol y en consecuencia se ve limitada su producción. Bajo condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad puede llegar a provocar defoliación total y muerte del caféto.



Figura 3.2. Hojas de café afectadas por roya.
Fuente: Anacafé ©FAO/Chocooj Pop

Mancha de hierro - *Cercospora coffeicola* Berk & Cooke.

En su fase inicial se presentan manchas circulares de 3 a 10 mm de diámetro, con tres colores concéntricos bien definidos: una mancha circular cenicienta oscura en el centro, con diminutos puntos negros, luego un anillo café-rojizo y en toda la orilla un halo amarillo.

Kolegora o "mal de hilachas" - *Pellicularia koleroga* Cooke *Corticium koleroga* v. Hoehnel.

La enfermedad se caracteriza por dañar las hojas, las ramas y los frutos. Una vez que el organismo penetra en los tejidos celulares, las hojas pierden su turgencia provocando una necrosis de la lámina foliar. Sus efectos en principio son visibles. En la parte inferior de las hojas se nota una red micelial blanquecina, las hojas mueren y cuelgan dando un aspecto de hilachas, de donde se deriva su nombre.

Antracnosis - *Colletotrichum coffeanum* Noack.

La enfermedad es conocida como muerte descendente porque la infección se inicia en la parte terminal de las ramas y avanza hacia el eje (tallo) central. Está considerada como una enfermedad de los frutos, no obstante, puede causar daños a la flor, a las bandolas y las hojas. Los síntomas en las hojas se presentan como manchas concéntricas que van de los bordes hacia la parte central; en frutos con puntos negros no concéntricos sobre la pulpa, deteniendo su crecimiento y provocando la momificación del mismo.

Phoma, quema o derrite - *Phoma* sp.

Esta enfermedad se presenta en zonas cafetaleras, cuya altitud es mayor que 1200 m.s.n.m. (4000 p.s.n.m.), con temperaturas bajas, alta humedad relativa y días nublados que favorecen el desarrollo del hongo. En fincas donde prevalecen estas condiciones, Phoma sp. es un problema serio que dificulta las labores de poda y/o recepa.

- La enfermedad se manifiesta inicialmente con la presencia de manchas de color negro mate, con apariencia de papel quemado en el ápice de las hojas tiernas. En hojas jóvenes aparecen manchas semicirculares de color negro, se arrugan y pliegan en torno a éstas. En las ramitas tiernas, las manchas que se iniciaron en la punta de las hojas terminales pronto invaden toda la hoja y avanzan por el tejido nuevo hacia la base y se detienen al encontrar el tejido leñoso.

El ataque de *Phoma* sp. se limita casi exclusivamente al tejido joven, hojas nuevas terminales, brotes y frutos tiernos.

Mal rosado - *Corticium salmonicolor* Berk & Br.

Es causada por un hongo que en estados avanzados toma una coloración rosada, invadiendo tejidos conductores. Al atacar las plantas en producción, los frutos son invadidos por el micelio del hongo semejando una telaraña, causando necrosis y muerte de la parte basal, así como la formación de motitas del micelio sobre la

superficie. Causa marchitez en el follaje terminal de las ramas. Ataca el tejido leñoso y joven de ramas principales, causando lesiones.



Figura 3.3. Planta de café atacada por el "mal rosado".
©FAO/Chocooj Pop

Cáncer del tronco - *Ceratocystis fimbriata* Elliot & Halst Hunt.

El hongo penetra el cafeto a través de una herida, luego avanza dentro del tejido sano hasta rodear el tallo por completo. Cuando la mancha ha alcanzado unos 8 cm de diámetro, la corteza que la cubre principia a agrietarse; después se revienta y abre. Los cuerpos fructíferos del hongo pueden sobrevivir en el suelo durante la época seca. El tejido morroñoso y agrietado de la corteza es un síntoma claro para identificar los cafetos afectados por cáncer. Al remover la corteza se comprueba la presencia de manchas necróticas de tejido infectado. Cuando la enfermedad se encuentra en estado

avanzado, las hojas se vuelven amarillas y el cafeto presenta un aspecto marchito y decaído, poco tiempo después, las hojas caen, la planta se seca y muere.

Ataca principalmente el tronco, pero también suele invadir las ramas. Una infección fuerte de cáncer puede matar un cafeto adulto en un período de 2 a 3 años.

Fumagina - *Capnodium sp.* y *Meliola sp.*

Esta enfermedad prospera sobre las excreciones de insectos chupadores como escamas, cochinillas del follaje y áfidos o pulgones. Los hongos que la forman tienen una tela negra que parece tizne u hollín.

Crece sobre las hojas, el fruto y los brotes del cafeto. Cuando la invasión del hongo es severa, interfiere con las funciones de la hoja y afecta el desarrollo normal de los brotes, provocando amarilleo y debilitamiento del cafeto.

Pudrición del fruto - *Corticium sp.*

Esta enfermedad se caracteriza por una invasión de pedúnculo que luego avanza por la base del tallo hasta llegar a cubrirlo. Si el ataque es al inicio de la formación del fruto, este se daña, terminando por pudrirse o caerse.

Sintomatología provocada por agentes abióticos

Grano negro.

Es un problema en los frutos de café, que externamente dan una apariencia normal sin signos de daños por enfermedades o plagas. No obstante, cuando los frutos se parten, se observa que una o las dos semillas, no llenaron, mostrando una coloración negra, con aspecto momificado, o solo un ennegrecimiento parcial del grano.

El problema ha sido atribuido a desordenes fisiológicos,



Figura 3.4. Cereza de café con síntomas de "grano negro"
©FAO/Chocooj Pop

relacionados con altas temperaturas y falta de lluvia, entre el tercer y cuarto mes después de la floración, cuando el grano se encuentra en la fase de llenado. Este período puede coincidir en algunos años con canículas muy acentuadas, y dichas condiciones climáticas pueden afectar la acumulación o conversión de carbohidratos en el grano.

Afecciones por fenómenos naturales

Erupción de arena volcánica.

La arena volcánica producida en la erupción, escarifica el fruto y rompe las hojas. Además, si coincide con la lluvia quiebra y desgaja ramas del café y de los árboles de sombra.

La acción del rayo.

Cuando no es directo con destrucción y quema de los cafetos y árboles de sombra, abarca áreas de 3 a 4 cuerdas que muestran cafetos y árboles resentidos, hasta marchitos, según la descarga. El síntoma fácil para detectar el origen de este daño en su inicio, es una coloración rojiza o café claro al pelar con una navaja la corteza de los ejes y ramas tiernas o medio leñosas.

Quemadura por acción del sol.

Se presentan después de una exposición repentina del café al sol, en forma de manchas café-rojiza en las hojas. Comúnmente se conoce como "efecto de lupa".

Exceso de calor y sequía.

Es fácil de apreciar en lugares donde el agua es escasa durante el verano, principalmente en suelos arenosos y pedregosos. Las hojas se "acartuchan" y ponen flácidas. En los lugares donde esto ocurre de manera estacional, los cafetos se recuperan con las primeras lluvias.

Quema por acción del frío y del viento.

El café es muy susceptible a la acción del aire en tránsito, los cafetos del almácigo en bolsa, deben transportarse protegidos del viento provocado por la velocidad del vehículo. El frío torna las hojas de color violáceo o morado, y si es más intenso provoca primero la muerte de los brotes, y luego de las demás hojas.

Otras afectaciones del café

La "Purga".

Es un daño que se atribuye a la interacción de años de alta carga de frutos con niveles de fertilización bajos, o inadecuados. La purga es la caída de frutos que aparentemente no están enfermos. Se considera relacionado con el complejo de las enfermedades mancha de hierro y antracnosis. Ciertas condiciones climáticas (sequía o exceso de lluvias), también pueden favorecer la purga de frutos.

Variegata.

Es una condición genética que ocurre en cafetos aislados. Las hojas de un café se muestran de color blanco y amarillo jaspeado parecido al de la planta ornamental *Croton*.

Referencias bibliográficas

Anacafé, Nutrientes y fertilización. Disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_Fertilizacion

Anacafé, Enfermedades y su control. Disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_ControlEnfermedades#Exceso_de_Calor_y_Sequ%C3%ADa

4. Adaptación del Café al Cambio Climático

André Luís Teixeira Fernandes⁶

Adaptación del café al Cambio Climático

El clima afecta a la caficultura de diversas maneras, debido a la acción de los elementos meteorológicos en los siguientes aspectos

- Fenología
- Productividad
- Calidad
- Longevidad

Se considera que la fenología, la productividad, la calidad y la longevidad de las plantaciones de café están estrictamente relacionadas con las condiciones meteorológicas vigentes a lo largo del ciclo de cultivo. Cualquier alteración en el clima, sea en la escala inter-anual o en escalas más largas, provocará alteraciones en dichos aspectos.

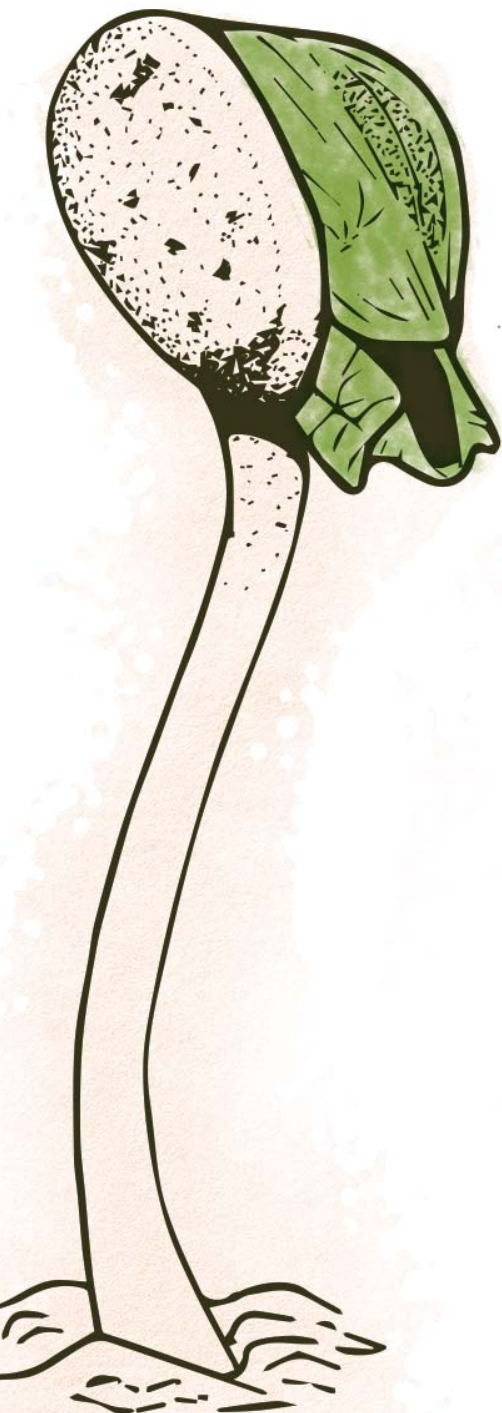
¿Cómo la agricultura y la ganadería podrán sobrevivir a los cambios climáticos?

La adaptación de la caficultura a los cambios climáticos se puede realizar mediante distintos ejes de actuación: el desarrollo de nuevas variedades tolerantes al calor, modificando la densidad de plantación y la densidad de sombra, o utilizando sistemas de riego.

El uso de la sombra en las plantaciones de café tiene por objetivo alterar el microclima de la plantación de café, disminuyendo la incidencia de radiación solar sobre las plantas, y reduciendo así la temperatura de las hojas y del dosel.

Más allá de los efectos de la radiación solar y de la temperatura, el uso de la sombra también proporciona:

6. Experto en Manejo de Agua y del Suelo. Vice rector de Investigación, Postgrado y Extensión, Universidad de Uberaba (UNIUBE), Uberaba, Brasil



- Reducción de la velocidad del viento
 - Reducción de la evapotranspiración (ET) de la plantación de café
 - Reducción del déficit hídrico de la plantación de café
 - Reducción de la amplitud térmica de las plantas (temperaturas extremas)
 - Aumento de la duración de las etapas fenológicas de la plantación
 - Los géneros de árboles usados para forestación en los cafetales son múltiples: *Grevillea*, *Hevea*, *Musa*, *Acacia*, *Leucaena*, entre otros.
 - La forestación aporta numerosos efectos favorables en la producción de café:
 - Con la reducción de la temperatura ambiente, la floración está menos sujeta al aborto de las flores y a la aparición de las estrellitas.
 - Disminuyen los problemas de sequía de los ápices.
 - El número de malas hierbas se reducirá, disminuyendo el número de limpiezas.
 - Aumenta la duración de la etapa del café cereza.
 - Aumenta la longevidad y la sustentabilidad del suelo de la plantación de café.
 - Aumenta la disponibilidad de agua en el suelo, lo que permite evitar, muchas veces, la irrigación.
- Pero también se pueden producir algunos efectos indeseables:
- El aumento de la incidencia de la broca del café, está asociado mayoritariamente al ambiente micro climático de la plantación de café forestado, que favorece la propagación del insecto.



Figura 4.1. Algunas acciones para la adaptación de la caficultura al cambio climático.

- La forestación de las plantaciones de café dificultan el uso de cosechadora mecánica en las líneas arborizadas. Esas líneas tienen que ser recogidas a mano o con cosechadoras pequeñas, de aplicación lateral. Esto que puede resultar un inconveniente en las grandes plantaciones brasileñas, no afecta, por el momento, a las plantaciones mesoamericanas dadas las características de sus cafetales.

El objetivo de las Plantaciones densas es disminuir la temperatura del aire y del suelo, la velocidad del viento, la demanda de agua y reducir el estrés de la planta.

Una buena gestión de las malas hierbas también puede ayudar a la disminución de la temperatura del aire y del suelo, de la amplitud térmica y aumenta la retención del agua del suelo.

Conclusión

La temperatura del planeta está aumentando en los últimos años, aunque este aumento no es por igual en todas las regiones. Este aumento puede ser debido a causas naturales o antropogénicas, y no hay consenso pleno al respecto. Ante el calentamiento, existen técnicas de cultivo y otras soluciones para adaptarse a una atmósfera más caliente: el riego, la forestación, la densidad de plantación, la mejora genética, etc.

El aumento de las temperaturas podrá resultar en la disminución del período de incubación de enfermedades como la roya, aumentando la severidad de esta enfermedad.

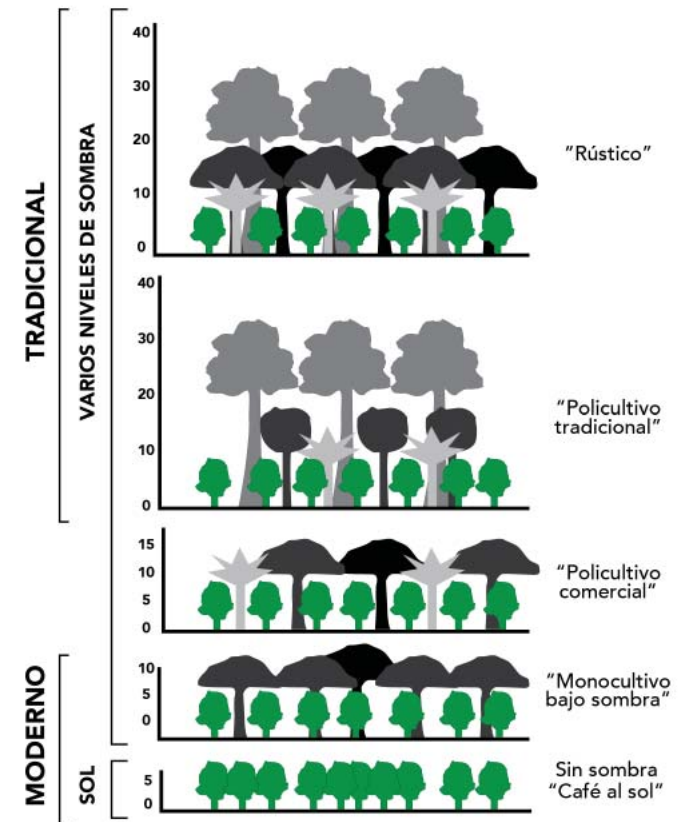


Ilustración 4.2.
Diferentes doseles y niveles de sombra para el cultivo de café

5. Gerencia de Fincas Cafetaleras a través de la Metodología del Sistema de Semáforo y Buenas Prácticas Agrícolas

Pohlan, Hermann A. Jürgen y Dennis José Salazar Centeno⁷

La palabra gerencia se utiliza para denominar al conjunto de personas con calificación que se encarga de dirigir y gestionar los asuntos de una empresa. El término también permite referirse al cargo que ocupa el director general o gerente de la empresa, quien cumple con distintas funciones: coordinar los recursos internos, representar a la empresa frente a terceros y controlar las metas y objetivos (Pérez, 2008).

Existen distintos tipos de gerencia: la gerencia patrimonial, que es aquella donde los puestos principales y los cargos de mayor jerarquía están en manos de los propietarios de la empresa; la gerencia política, donde los puestos gerenciales se asignan en base a la afiliación y a las lealtades políticas; y la gerencia por objetivos, donde los esfuerzos se dirigen hacia una meta en común (Pérez, 2008). En este texto nos referiremos a la gerencia patrimonial, dado que los sistemas cafeteros son usufructos familiares.

Desde esa óptica, la metodologías

del Sistema de Semáforo (SdS) permite al gerente de fincas cafeteras realizar el diagnóstico, el monitoreo y la auditoría interna y externa de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la cadena productiva del café.

Desde esta perspectiva, los principios de las Buenas Prácticas Agrícolas son herramientas y guías básicas para una producción agrícola y pecuaria exitosa y garantizan estándares muy altos en el manejo agronómico de los cultivos y su poscosecha. Éstas se realizan en armonía con las condiciones económicas, ecológicas y sociales en cada lugar y en cada finca. En todos los casos, es esencial poder identificar técnicas y métodos productivos que garanticen el pago de estas actividades para su manejo integral, de modo que contribuyan a la inocuidad y trazabilidad de los productos agrícolas.

Las estructuras básicas para estos procesos según Pohlan y Salazar (2012a, 2012b y 2012c) y Pohlan y Janssens (2010) son:

7. Universidad Nacional Agraria Managua, Nicaragua

- Identificar, documentar y analizar la situación real en cada una de las cadenas productivas presentes; desde el historial y el ordenamiento territorial de las fincas, lote por lote, hasta el producto final; Determinar las estrategias de las Buenas Prácticas Agrícolas a corto, mediano y largo plazo para cada rubro agrícola;
- Identificar y evaluar los puntos críticos involucrados en el desarrollo sostenible, que dependen de las condiciones económicas, ecológicas y sociales;
- Facilitar información profesional actualizada para el cultivo, la cosecha y la poscosecha;
- Divulgar instructivos prácticos para distintos agro ecosistemas, adaptados a las condiciones locales, las tradiciones socio-económicas y culturales;
- Facilitar el monitoreo que garantice un manejo transparente y de fácil acceso para cada pilar en la cadena productiva.

En base a lo anteriormente descrito, se tomó la idea de diagnosticar, monitorear y auditar las Buenas Prácticas Agrícolas en el agro ecosistema de café a través de la metodología del sistema de semáforo (SdS), considerando 13 pilares claves, que permiten caracterizar los diferentes sistemas de este cultivo, cuyos fundamentos son los indicadores principales descritos por Pohlan y Salazar (2012a, 2012b y 2012c).

Los pilares determinados para el diagnóstico, monitoreo y auditoría interna y externa para fincas cafetaleras son los siguientes:

- Historial y ordenamiento de la finca por lote.

- Manejo y conservación del suelo.
- Origen de la semilla, variedad y cultivares.
- Establecimiento de vivero y calidad de las plántulas.
- Establecimiento de la sombra y trasplante del café.
- Manejo de la poda de los árboles de sombra.
- Manejo de malezas o arvenses.
- Manejo de la nutrición.
- Manejo de plagas y enfermedades.
- Riego, cultivos intercalados y diversificación.
- Manejo de tejidos del cafeto.
- Manejo de la cosecha y beneficiado húmedo.
- Atención social, capacitación y entrenamiento.

Esta metodología es una herramienta transparente y precisa que se dirige a todos los actores del sector productivo café, ya sean ellos campesinos, productores medianos y/o grandes, cuya finalidad es diagnosticar, monitorear y auditar el estado del arte de las Buenas Prácticas Agrícolas como un componente importante en la gerencia de empresas agrarias.

Las luces o focos del semáforo para los componentes determinados funcionan de manera tal, que ellas existen como estándar antes de evaluar una finca con sus respectivos lotes (Gráfico 5.1). En el caso del agro ecosistema café son 11 componentes en rojo, 16 en amarillo y 24 en verde (Pohlan y Salazar, 2012a, 2012b y 2012c).

Estándar: Puntos críticos de BPA en café
Pilares, componentes y estándares



Gráfico 5.1. Conjunto completo de los 50 puntos de control para fincas cafetaleras.

Las luces o focos funcionan de la siguiente manera (Gráfico 5.2):

- **Luz o foco rojo:** significa **muy alto peligro**, que es producto de incumplimientos de leyes y normas por parte de actividades BPA. Estos son sancionados obligatoriamente, si no son resueltos inmediatamente. ¡Por tanto, hay que parar obligatoriamente este proceso de BPA para resolver el problema! ¡Incumplimiento significa "NO aprobar los requisitos para la exportación hacia la Unión Europea (UE)"! En caso de cumplir satisfactoriamente el componente, la luz o foco rojo se apaga, que significa que el peligro ya NO existe y se puede exportar hacia la UE (Gráfico 5.3).
- **Luz o foco amarillo:** significa **alto peligro**. ¡Hay que

verificar el problema porque éste puede causar el peligro de ponerse en una luz o foco ROJO! ¡NO resolverlo significa poder entrar a riesgo muy alto (Rojo)!. En caso de cumplir satisfactoriamente este componente, la luz o foco amarillo se apaga, sealando que el peligro ya no existe. El productor o productora gerencia el sistema productivo con ética, con responsabilidad social, ambiental y profesional (Gráfico 5.4).

- **Luz o foco verde:** no existe **ningún peligro** de ser sancionado. La luces o focos en verde siempre se mantienen encendidos y nunca se apagan. Sin embargo, en dependencia del cumplimiento agrícola se le otorga un color verde oscuro que significa cumplido o un color verde claro que simboliza que es aún problemático, por lo que se debe mejorar el componente para que el foco se convierta en verde oscuro.

Estos focos funcionan como una herramienta muy precisa y transparente para conocer todas las actividades agrícolas en las fincas cafetaleras lote por lote, documentan y analizan la relación coste versus beneficio y apoyan a los empresarios en la toma de decisiones en su propio beneficio económico.

Puntos críticos de BPA en café Metodología del sistema de semáforo



Gráfico 5.2. Esquema general para evaluar las buenas prácticas agrícolas mediante la metodología del sistema de semáforo.

Pilares con componentes y estándares con foco rojo apagado, cumple para la UE



Gráfico 5.3. Esquema de una gerencia de las prácticas agrícolas, únicamente, para cumplir con las exigencias del mercado europeo.

Pilares con componentes y estándares con foco rojo y amarillo fundido



Gráfico 5.4. Esquema de una gerencia de las prácticas agrícolas de la empresa cafetalera con ética y responsabilidad social, ambiental, empresarial y profesional.

Para validar esta metodología Solórzano (2011) desarrolló una tesis de maestría en la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua.

Posteriormente, Pohlan y Salazar (2012c) publicaron la metodología en el libro de *Speciality Coffee: Managing Quality*, financiado por *International Plant Nutrition Institute, Southeast Asia Program* (IPNI-SEAP).

En el año 2012, se publicaron dos manuales⁸ que consideran necesario diagnosticar, monitorear y auditar las BPA mediante la metodología del sistema de semáforo, que coadyuven a un cronograma básico para sistematizar, lote por lote y definir de manera precisa y transparente todos los procesos agrícolas en una finca cafetalera, cuyo propósito debe ser implementar el código de barra y así garantizar la cadena productiva bajo los principios de trazabilidad e inocuidad (Figura 5). Adicionalmente, Hindorf et al (2015), adaptaron esta metodología para el manejo orgánico de enfermedades⁹.

Todo este proceso debe facilitar la determinación de los costos de producción en la empresa cafetalera y el nivel de ingresos de los productores. Adicionalmente, se plantea determinar el punto de equilibrio y la utilidad neta generada para el cultivo del café, y cómo se afecta la utilidad neta y el margen de ganancia una vez implementada las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en combinación con la metodología del sistema de semáforo (SdS) en las unidades de producción.

En la siguiente tabla se resume la metodología del Sistema de Semáforo que es una herramienta de gerencia del agro ecosistema café, lote por lote, con ética y responsabilidad social, ambiental, empresarial y profesional. En la primera columna están los pilares (13), en la segunda los componentes y en la tercera el estándar asignado. La cuarta columna representa la situación ideal de cada componente para implementar una gerencia de las prácticas agrícolas de la

8. Uno para las condiciones de Nicaragua, disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2423>. El segundo manual es para las condiciones de Perú, disponible en http://www.sierraexportadora.gob.pe/wp-content/uploads/biblioteca-virtual/manuales/Manual_cafe_2012_con_prologo.pdf

9. Publicada en el texto *Plant diseases and their management in organic agriculture*, cuyos editores son: María R. Finckh, Ariena H.C. van Bruggen y Lucius Tamm

Fecha: _____ Localidad: _____

Nombre de la finca: _____ Nombre del lote o plantío: _____

Pilares	Componentes	Estándar del componente	Situación ideal del componente	Observaciones
1. Historial y ordenamiento de la finca por lote	Falta de mapeo / Georeferenciación	●		
	Falta de análisis del suelo (Metales pesados)	●		
	Clima	●	●	
	Topografía / Ubicación	●	●	
	Infraestructura	●	●	
2. Manejo y conservación del suelo	Pendientes superiores 25°	●		
	Prevención de erosión	●		
	Esponja para agua	●	●	
	Acumulación de materia orgánica (MO)	●	●	
	Sistemas adecuadas para cada sitio	●	●	
3. Origen de la semilla y cultivares	Semilla No certificada o ni de plantas élites	●		
	Calidad de semilla	●	●	
	Tamaño de bolsas y tubetes	●	●	
	Cultivares	●	●	
4. Establecimiento de vivero y calidad de las plántulas	Población de nematodos superiores al umbral	●		
	Sistema radicular = NO hacer poda	●		
	Plantas vencidas	●		
	Plantas sobre nutridas	●	●	

Pilares	Componentes	Estándar del componente	Situación ideal del componente	Observaciones
5. Establecimiento de la sombra y trasplante del café	Sembrar sombra temporal o permanente antes del trasplante	●	●	
	Aprovechar diferentes estratos ya existentes y su diversidad	●	●	
	Trasplante del café	●	●	
6. Manejo de la poda de los árboles de sombra	Poda sin protección física	●		
	Manejo de la poda	●	●	
7. Manejo de arvenses o malezas	Herbicidas restringidos por la Unión Europea	●		
	Sobredosis de aplicación	●		
	Falta de uso de equipos de protección	●		
	Número de controles de arvenses por año	●	●	
8. Manejo de la nutrición	Condiciones de almacenamiento no adecuadas	●		
	Aprovechamiento de envases sucios	●		
	Dosis de aplicación	●	●	
	Relación tipo de feertilizante vs. necesidad = se debe conocer fonología	●	●	
9. Manejo de plagas y enfermedades	Condiciones de almacenaje no adecuadas	●		
	Productos NO permitidos por UE	●		
	Aprovechamiento de envases sucios	●		
	Sobredosis de aplicación	●		

Pilares	Componentes	Estándar del componente	Situación ideal del componente	Observaciones
	Falta de uso de equipos de protección	●		
10. Riego, cultivos intercalados y diversificación	Calidad del agua de riego	●		
	Cultivos intercalados	●	●	
	Diversificación productiva y de servicios a largo plazo	●	●	
11. Manejo de tejidos	Recepar sin protección física	●		
	Manejo del recepo	●	●	
	Raleo del rebote	●	●	
12. Manejo de la cosecha y beneficiado	Aprovechamiento de envases inadecuados	●		
	Transporte en el campo	●		
	Corte de solo fruto maduro	●	●	
13. Atención social, capacitación y entrenamiento	Permitir trabajar a menores de edad (menores de 14 años)	●		
	Falta disponibilidad de alimentación y calidad de alojamiento	●		
	Seguridad Social no garantizada	●		
	Bonos, Transporte, Recreación	●	●	
	Capitación	●	●	

Tabla 5.1. Estándar de los componentes en cada pilar y la situación idónea de las Buenas Prácticas Agrícolas en cafetales.

empresa cafetalera con ética y responsabilidad social, ambiental, empresarial y profesional. Durante el proceso de diagnóstico, monitoreo y auditoría se pone una marca de verificación (x) en los componentes con estándar rojo o amarillo (cuarta columna), que significa que se han superado satisfactoriamente esos estándares. Si no se supera el estándar o no se funde el foco respectivo, no se pone la marca de validación y

se anotan en la columna de observaciones, las recomendaciones para superar esa situación y que se funda, a futuro, la luz roja o amarilla. Referente a los focos verdes, éstos permanecen encendidos, pero pueden cambiar de tonalidad (de oscura a clara). Si cambia de tonalidad, se apuntan en la columna de observaciones, las recomendaciones para superar, a futuro, esa situación y que la tonalidad verde claro se convierta en oscura.

Referencias Bibliográficas

Hindorf, H., Tedesse, M., Pohlen, J., Weedon y Finckh, 2015, *Organic coffee Disease management. Part 5. Specific crops, chapter 5.9. In Plant diseases and their management in organic agriculture*. María R. Finckh, Ariena H.C. van Bruggen y Lucius Tamm. 2015. p. 367-382.

Pérez, J., 2008. Definición de gerencia. Consultado el 4 de julio del 2016. (Disponible en. <http://definicion.de/gerencia/>)

Pohlen, J. y Salazar Centeno, D., 2012a. Diagnóstico, monitoreo y auditoría de buenas prácticas agrícolas a través del sistema de semáforo. ISBN 978- 99924-1-0118-9, Managua, Nicaragua, 63 p. (disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2423>).

Pohlen, J. y Salazar Centeno, D., 2012b. Diagnóstico, monitoreo y auditoría de buenas prácticas agrícolas a través del sistema de semáforo en cafetales de Perú. Manual y guía para productores. 61p. (disponible en http://www.sierraexportadora.gob.pe/wp-content/uploads/biblioteca-virtual/manuales/Manual_cafe_2012_con_prologo.pdf)

Pohlen, J. y Salazar Centeno, D., 2012c. The prerequisites - *best agronomic management practices*. Chapter 2.1. In: Oberthür et al., 2011. Specialty Coffee: Managing Quality. International Plant Nutrition Institute, Southeast Asia Program (IPNI SEAP).

Pohlen, J., Marc J., Janssens, J., 2010. Growth and production of coffee, in *Soils, Plant Growth and Crop Production*, [Ed. Willy H. Verheye], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, (disponible en <http://www.eolss.net>) [consultado el 4 de diciembre de 2010].

Solórzaro, J., 2011. Evaluación de Buenas Prácticas Agrícolas Bajo el Sistema de Semáforo en la Finca El Palacio Estate en el Departamento de Jinotega, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua, Tesis de Maestría, 102 pp.



6. Estudio de la Epidemiología y de los Periodos de Incubación y de Latencia de Roya del Cafeto en El Salvador

Julio César Grande Meléndez¹⁰

El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), a través de su programa CENTA-CAFÉ realiza trabajos específicos sobre la biología de la roya del cafeto, para obtener información que sirva de base para la implementación de programas de manejo integrado. En particular trabaja en dos aspectos esenciales, la epidemiología y la duración los periodos de incubación y de latencia, en diferentes estratos altitudinales.

Estudio epidemiológico de la roya del cafeto en diferentes estratos altitudinales

La finalidad del estudio es conocer el patrón de comportamiento de la curva de progreso de la roya del cafeto a diferentes altitudes. Se estudia en 6 localidades ubicadas en diferentes zonas cafetaleras de los departamentos de Santa Ana, Sonsonate, La Libertad y San Vicente. El avance de la enfermedad en el tiempo se mide en base a los parámetros de incidencia y severidad en parcelas libre de aplicación de fungicidas para el control de roya, donde mensualmente se realizan

conteos del total de hojas, número de hojas nuevas, números de hojas con roya y número de pústulas.

Comportamiento de la roya en condiciones de bajío

El gráfico 6.1 presenta los porcentajes de hojas enfermas durante el periodo de marzo de 2014 a diciembre de 2015 en la finca María José, ubicada en el municipio de Guadalupe, Departamento de San Vicente, a 730 metros sobre el nivel del mar, cultivada con la variedad Pacas.

Durante los meses de marzo, abril y mayo de 2014 se observó que la enfermedad decreció significativamente alcanzando un porcentaje de 0,5% de hojas enfermas. Entre los meses de junio y septiembre se observó una fase de crecimiento lento bastante prolongada, donde los incrementos de la enfermedad fueron muy leves. No obstante, a partir del mes de octubre se comenzó a observar fuertes incrementos de roya, indicando el inicio de la fase de crecimiento

10. Investigador en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA)-El Salvador

acelerado. La infección máxima en 2014, sucedió en el mes de diciembre alcanzando un 42,89% de hojas enfermas.

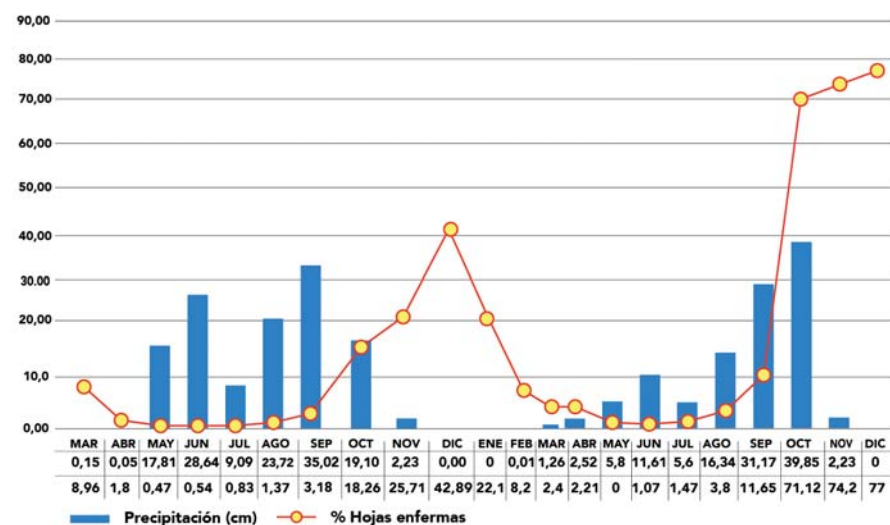


Gráfico 6.1. Precipitación (cm) y porcentaje de hojas enfermas durante el estudio epidemiológico de la roya del cafeto en finca María José, Guadalupe, San Vicente, a una altitud de 730 metros sobre el nivel del mar. Marzo 2014 a diciembre 2015. Fuente: CENTA-Café.

De enero a mayo de 2015 se observa la fase de decrecimiento de la enfermedad, a medida que la época seca se acentúa los porcentajes de hojas enfermas disminuyen considerablemente. La fase de crecimiento lento durante el año 2105 fue un poco menos prolongada en comparación a la del año anterior, durante los meses de junio, julio y agosto. La fase de crecimiento acelerado se observó a partir del mes de septiembre, el punto de infección máximo de la epidemia igualmente ocurrió en diciembre, pero con un 77% de hojas enfermas, indicando una epidemia mucho más intensa que la del año 2014.

Comportamiento de la roya en condiciones de media altura

El gráfico 6.2 presenta los porcentajes de hojas enfermas obtenidos durante el periodo comprendido entre marzo de 2014 y diciembre de 2015 en la finca Santa Clemencia ubicada en el municipio de Santaz Ana, departamento de Santa Ana a 1000 metros sobre el nivel del mar, cultivada con la variedad Pacas.

Entre los meses de marzo y abril de 2014 la enfermedad decrece significativamente de un 12,36% a un 3,35% de hojas enfermas. En los meses de mayo y junio se comenzó a observar ligeros incrementos en el porcentaje de hojas enfermas (fase de crecimiento lento). A partir del mes de julio la roya incrementó fuertemente, pasando de 5,18% al final del mes de junio a un 48,7% de hojas enfermas al finalizar el mes de julio. El punto de infección máximo ocurrió en el mes de noviembre alcanzando un 86,45% de hojas enfermas. Se observó un decrecimiento bastante prolongado de la enfermedad desde diciembre de 2014 hasta finales de mayo de 2015. La fase de crecimiento lento ocurrió durante junio y julio, el crecimiento acelerado inició durante el mes de agosto. Sin embargo, el punto de infección máximo sucedió en el mes octubre, alcanzando un 88,33% de hojas enfermas.

Comportamiento de la roya en condiciones de estricta altura

El gráfico 6.3 presenta los porcentajes de hojas enfermas obtenidos durante el periodo comprendido entre marzo de 2014 y diciembre de 2015 en la finca San Pedro ubicada en el municipio de Juayua, Departamento de Sonsonate, a 1496 metros sobre el nivel del mar, cultivada con la variedad borbón.

Entre marzo y abril de 2014 la roya decreció de un 13,8% a un 5,68% de hojas enfermas. Durante los meses de mayo y junio, la roya se incrementó lentamente. Y en el mes de julio de 2014 la incidencia de roya aumenta fuertemente alcanzando un 32,28% de hojas enfermas, llegando al punto máximo de infección en el mes de octubre logrando un 71,86% de hojas infectadas. Se observa un periodo de decrecimiento de la enfermedad de noviembre de 2014 hasta abril de 2015.

La fase de crecimiento lento de la epidemia en el año 2015 en condiciones de estricta altura es casi imperceptible, debido a que de un 4,08% en el mes de abril se incrementó a un 20,01% de hojas infectadas en el mes de mayo, mostrando la roya, durante ese corto periodo, una alta tasa de crecimiento. A diferencia del año anterior, en el año 2015 la máxima infección de la epidemia ocurrió en el mes de agosto alcanzando un 71,68% de hojas infectadas. Esto indica una epidemia bastante precoz en 2015.

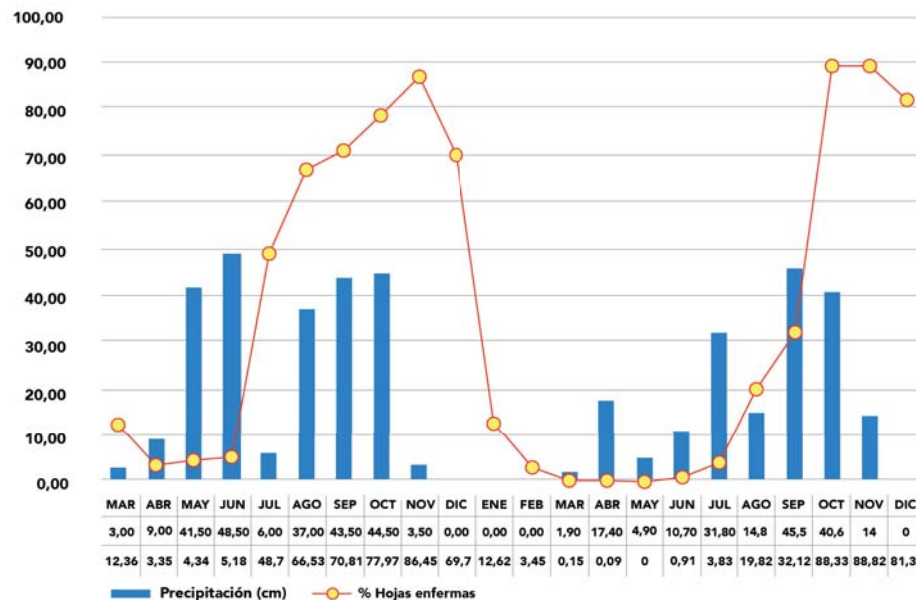


Gráfico 6.2. Precipitación (en cm) y porcentaje de hojas enfermas en finca Santa Clemencia, Santa Ana, a una altitud de 1000 metros sobre el nivel del mar. Marzo 2014-diciembre 2015. Fuente: CENTA-Café.

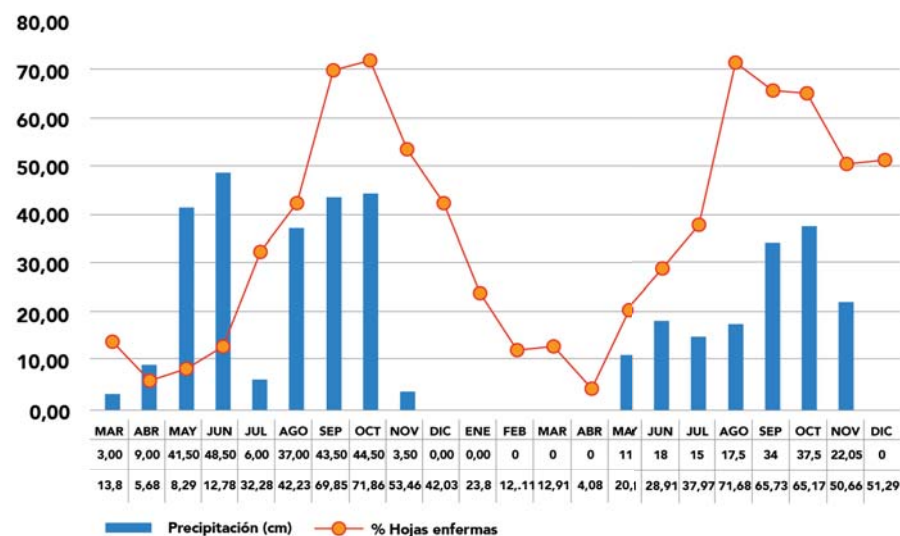


Gráfico 6.3. Precipitación (cm) y porcentaje de hojas enfermas durante el estudio epidemiológico de la roya del café en finca San Pedro, Juayua, Sonsonate, a una altitud de 1496 metros sobre el nivel del mar. Marzo 2014 a diciembre 2015. Fuente: CENTA-Café.

Algunas conclusiones sobre el comportamiento de la roya del café en diferentes estratos altitudinales, durante los años 2014 y 2015 en El Salvador

En el gráfico 6.4, se observa la distinta evolución de incidencia de roya (% de hojas enfermas) en función de los estratos altitudinales en que se encuentran las fincas.

Las principales conclusiones respecto al efecto altitudinal son:

- Durante los años 2014 y 2015 las parcelas ubicadas en los estratos altitudinales de media y estricta altura presentaron mayores porcentajes de hojas enfermas.
- Las parcelas ubicadas en el estrato altitudinal bajo, presentaron menores porcentajes de hojas enfermas, y la epidemia tiende a retardarse considerablemente en comparación a las parcelas de media y estricta altura.

En los estratos de bajo y media altura, los máximos porcentajes de hojas enfermas y la mayor cantidad de tejido dañado, coincidieron con la época de cosecha e inicio de la época seca, confirmando lo que se consideraba comportamiento normal de la enfermedad.

En estricta altura, la enfermedad tiende a ser más precoz, su velocidad de desarrollo es mayor, alcanzando el punto máximo de infección antes de la época de cosecha, constituyendo un mayor peligro, debido a que las defoliaciones ocurren en etapa de desarrollo del fruto.

Estudio de los periodos de incubación y de latencia de roya del café

Se realizaron experimentos en campo durante los meses de septiembre y octubre de 2015, con la finalidad de conocer la duración de los periodos de incubación y de latencia de roya en diferentes altitudes. Los sitios donde se ejecutaron los ensayos de campo se describen en la tabla 6.1

Nombre de finca	Ubicación	Variedad cultivada	Altitud (m.s.n.m)
Las flores	Municipio de Tacuba, departamento de Ahuachapán	Pacas	739
Santa Clemencia	Municipio de Santa Ana, departamento de Santa Ana.	Pacas	1000
San Pedro	Municipio de juayua, departamento de Sonsonate	Borbón	1500

Tabla 6.1. Fincas participantes en el estudio.

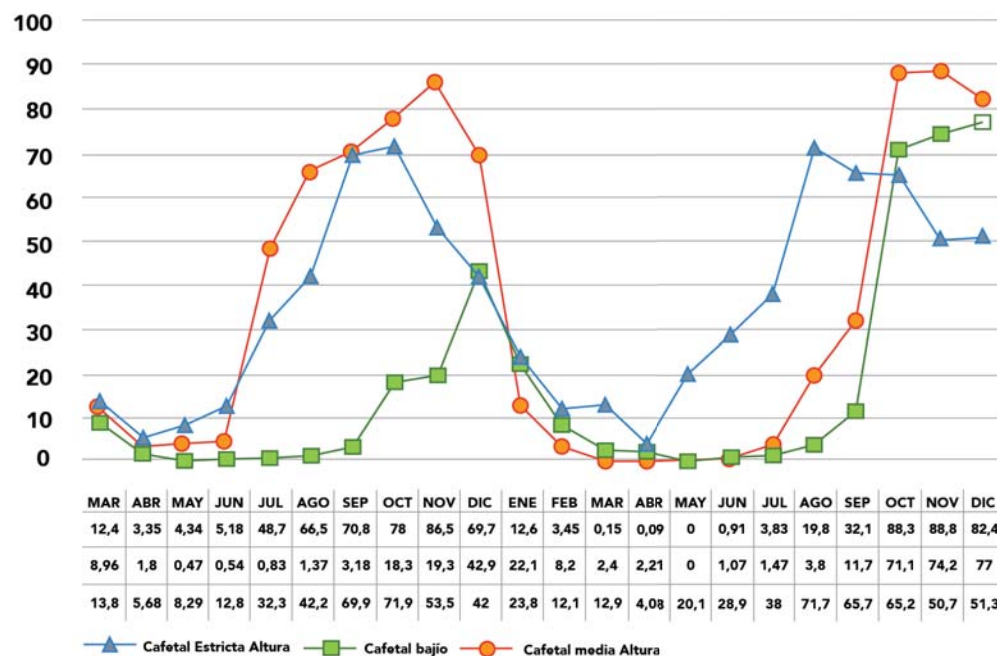


Gráfico 6.4. Incidencia de roya en diferentes estratos altitudinales de El Salvador desde marzo 2014 a diciembre de 2015. Fuente: CENTA- Café.

En cada finca se delimitaron parcelas libres de la aplicación de fungicidas, donde se tomaron 30 árboles al azar. En cada árbol se marcaron 10 hojas sanas de brotes nuevos, las cuales fueron tapadas con una bolsa parafinada, y monitoreadas durante un mes para asegurarse que estuvieran libres de roya. Posteriormente se realizaron las inoculaciones de esporas de roya sobre el envés de la hoja, nuevamente se taparon con la bolsa parafinada y se

monitorearon diariamente hasta la aparición de los primeros síntomas (periodo de incubación). Luego de haber presentado los primeros síntomas las hojas fueron destapadas y monitoreadas cada 2 días hasta la aparición de pústulas.

Los resultados obtenidos en los experimentos se detallan en la tabla 6.2.

Nombre de la finca	Varietal	Altitud	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Temperatura media	Periodo de incubación	Periodo de Latencia
Las flores	pacas	739	32° C	19°C	23°C	12 días	24 días
Santa Clemencia	pacas	1000	35°C	20°C	28°C	12 días	22 días
San Pedro	borbón	1500	25° C	15°C	19°C	14 días	28 días

Tabla 6.2. Resultados de incubación y latencia de la roya en distinto estrato altitudinal. Fuente: CENTA-Café

El estudio realizado sobre los periodos de latencia de roya en El Salvador, durante los meses de septiembre y noviembre de 2014, permite concluir que los periodos de incubación y de latencia tienden a ser levemente más largos en la finca ubicada en el estrato altitudinal de estricta altura, mientras que el periodo de latencia más corto se observó en la finca ubicada en el estrato de media altura.

Perspectivas de trabajo de CENTA-Café para el mejor conocimiento epidemiológico de la roya en El Salvador

El CENTA-Café pretende mejorar el conocimiento del comportamiento de la roya del café en todas las zonas cafetaleras del país, y mantener su estudio de forma constante para poder integrar los conocimientos adquiridos al manejo integrado del

cafetal. Por ello se prevé:

- Continuar con el estudio epidemiológico de la roya, de ser posible extenderlo a las 6 cordilleras cafetaleras de El Salvador.
- Integrar el estudio epidemiológico de la roya como base y referencia de sistemas de monitoreo continuo, alertas temprana y programas de manejo integrado.
- Repetir el estudio de los periodos de incubación y de latencia, preferiblemente realizarlo mensualmente.
- Trabajo en conjunto con el servicio de meteorología del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para obtener datos y herramientas meteorológicas que nos permitan conocer en profundidad los procesos naturales que determinan el desarrollo de la enfermedad.



7. La Roya del Café (*Hemileia Vastatrix*): Variabilidad Patogénica y las Estrategias de Manejo de la Enfermedad en Cuba

Luis Pérez Vicente¹¹

Introducción

El café se introdujo en Cuba en el año 1748. La producción de café hoy se lleva a cabo en zonas de montaña de 8 provincias y 37 municipios del este (85% de la producción), el centro (10%) y el occidente (5%) del país, y es llevada a cabo por 36 300 productores y 18 400 trabajadores más en el beneficiado. Existen 100 400 ha dedicadas al café bajo sombra de las cuales existen 81 700 ha en producción. El 65% del área y el 67% de la producción se encuentran en el sector cooperativo y campesino. A partir de la crisis económica de los noventa del siglo pasado, la producción cafetalera se deprimió debido a la falta de inversión para renovaciones, cultivo y proceso y falta de fuerza de trabajo por migración a otros sectores económicos en las ciudades. Desde el 2012, se desarrolla un programa cafetalero para progresivamente recuperar niveles

de plantación y producción, y estabilizar el acceso a insumos y fuerza de trabajo.

Las principales variedades cultivadas en Cuba pertenecen a *Coffea arabica* (Typica, Caturra, Catuai, Bourbon), *Coffea canephora* (Robusta) y los híbridos de ambas especies (Catimor e Isla).

Las principales enfermedades existentes en el país son la roya (*Hemileia vastatrix*), la antracnosis (*Colletotrichum spp.*), la mancha de ojo parda (*Cercospora coffeanum*), el ojo de gallo (*Omphalia flavida*), el damping off (*Rhizoctonia solani*), el tizón de hilachas (*Mycena citricolor*) y los nemátodos (*Meloidogyne spp.* y *Pratylenchus coffeae*). Las principales plagas insectiles son el minador (*Leucoptera coffeella*) y la broca (*Hypothenemus hampei*) la guagua verde (*Coccus viridis*), guagua hemisférica (*Saissetia hemisphaerica*) y en menor medida los *Xyleborus* perforadores.

11. Investigador Titular en Fitopatología. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV). Ministerio de Agricultura, Cuba

La roya del café *Hemileia vastatrix*: infección, variabilidad (razas) y epidemiología

Hemileia vastatrix es un hongo biotrófico, heteroico (aunque no se conoce el hospedante alternativo), que vive en contacto íntimo con los tejidos vivos. Su crecimiento comienza cuando las uredosporas reconocen las propiedades físico-químicas de la planta y germinan, diferenciando los apresorios sobre los estomas (Silva et al., 2006). Del apresorio, se desarrolla una hifa de penetración en la cámara estomática, se forman dos ramas laterales (ancla) y una célula madre que da lugar a un haustorio en la cámara subestomática. A partir de esto, se produce una fuerte colonización del tejido y formación de haustorios en el mesófilo y finalmente se desarrollan uredinios que liberan uredosporas a través del estoma (Rodrigues Jr. et al., 1975; Coutinho et al., 1993; Martins y Moraes, 1996). Los haustorios son fundamentales en el establecimiento del biotrofismo pues son los responsables de la absorción de nutrientes y el intercambio de información patógeno-hospedante. En los primeros estados de este proceso, la planta reconoce los componentes de la pared celular del hongo y activa los mecanismos de defensa. El patógeno para eludir el reconocimiento de la planta, desarrolla diferentes vías tales como la modificación de las paredes celulares con un compuesto que no puede ser reconocido, lo que permite la invasión y su sobrevivencia (Gueddari et al., 2002).

La dinámica y severidad de la enfermedad en el campo (Avelino et al., 2004; 2006) depende de factores genéticos (susceptibilidad de las variedades), ambientales (temperatura, humedad, humectación de las hojas, humectación del suelo, radiación solar), de cultivo (carga productiva, nutrición, protección, podas, sombra, nivel de protección con fungicidas), etc.

H. vastatrix tiene una gran variabilidad y la relaciones entre los genotipos del hospedante y del patógeno concuerda con la teoría de Flor (1954, 1959; genes de resistencia en el hospedante con genes complementarios de avirulencia en el patógeno). Los cafetos han sido agrupados en grupos fisiológicos (β , E, D, α , C, γ , J, I, W, L, G, H, R, 1, 2 y 3, A) de acuerdo a los genes de resistencia completa

SH que poseen los cuales son dominantes y de fácil selección, pues se expresan aún en heterocigotos, con excepción del gen SH4 que confiere resistencia completa solo en estado homocigótico con plena luminosidad (Eskes, 1983). Los primeros genes de resistencia utilizados fueron SH5 en el cultivar Blue Mountain en 1913 y posteriormente en el K7 con los genes SH2 y SH5. Muchos cultivares considerados resistentes en el pasado presentan actualmente susceptibilidad. Para un cultivo perenne como el café, se necesita una vida productiva de al menos 15 años y se requiere una resistencia durable. Los genes SH1, SH2, y SH4 no han brindado resistencia durable (Eskes, 1983). El gen SH3 obtenido de *C. liberica*, permite una mayor resistencia durable (Bergamin Philo, 1976; Eskes, 1983, Sera ., 2007) y se sospecha la presencia de más genes de resistencia (Mahe et al., 2007). Rodríguez et al., (2000), confirmaron la existencia de otros genes además de los mencionados en el híbrido de Timor.

En 1975, se reconocían 32 razas de roya identificadas a partir de una serie de más de 40 diferenciales de café que constituyen los grupos fisiológicos (Rodrigues Jr. et al., 1975). Hasta ahora, han sido identificadas > 40 razas con un gran espectro de genes de patogenicidad (Silva et al., 2002, 2006; Várzea et al., 2001, 2002, 2005; Gouveia et al., 2012), como la XXXIX, con los genes de avirulencia v2, v4, v5, v6, v7, v8, v9), aislada de muestras de la India (Várzea et al., 2001).

Todos los fenotipos y genotipos predominantes de las especies biológicas, están sometidos a tres tipos de procesos de selección (Wolf, 1981):

- **Selección estabilizadora:** proceso que mantiene una alta frecuencia de fenotipos óptimos con mayor adaptación de los individuos al rango usual de circunstancias que la población encuentra (debido a que hay variaciones ambientales y a que pueden ser producidos fenotipos similares por diferentes genotipos, habrá variabilidad genética en una población sometida a una fuerte selección estabilizadora). En poblaciones de *C. arabica* susceptibles, los genotipos de roya más comunes son la v2 y la v5 en casi todas las regiones;

- **Selección direccional:** cuando el fenotipo promedio en la población no está muy cercano al óptimo, entonces la selección favorecerá a esos fenotipos y sus genotipos asociados, de tal forma, que la selección se moverá de los fenotipos promedios a un nuevo óptimo. La selección estabilizadora, podrá operar simultáneamente para estabilizar la población alrededor del nuevo óptimo. La selección direccional es una respuesta positiva a cambios en el ambiente; es de especial importancia en el contexto de la aparición de formas más agresivas y funciona y opera en cambios cuantitativos como son las poblaciones con resistencia parcial poligénica;
- **Selección disruptiva:** cuando se crean dos ambientes diferentes que favorecen características óptimas distintas para cada uno como es la introducción de genes de resistencia completa en una población. La selección estabilizadora operará de nuevo para mantener los fenotipos seleccionados en sus óptimos respectivos. Cuando se introduce un gen de resistencia a gran escala se establece un proceso de selección que cambia la estructura de la población la cual estará caracterizada por los individuos que portan los genes de avirulencia complementarios.

Los factores que determinan la presión de selección se dividen en fijos (biología del hongo, mecanismos de patogenicidad, condiciones climáticas, etc.) y cambiables (uso de las variedades resistentes y otras medidas de lucha). Los factores fijos (no modificables) principales son: el número y naturaleza de los mecanismos bioquímicos de la resistencia y genes que la controlan; la mutabilidad de los genes de avirulencia en el locus que concierne; la intensidad de la reproducción del patógeno; la longitud de los períodos con alta presión de infección; el número de generaciones del patógeno durante período favorable a la infección. Los factores cambiables son: el tamaño de la población del patógeno sometida a presión de selección; el tamaño de la superficie ocupada con variedades con genes de resistencia vertical en relación a la de variedades susceptibles (extensión de las poblaciones de cafetos con un gen

particular de resistencia); la proporción de la población del patógeno sujeta a selección para virulencia; uso de variedades con diferentes genes de resistencia; pirámide de genes de resistencia; nivel de la erosión de resistencia incompleta u horizontal en el mejoramiento para resistencia completa; presencia/ausencia de otros medios de lucha (saneamiento, nutrición, antagonistas, fungicidas de diferente modo de acción bioquímico, manejo de sombra y humedad, etc.) que permita reducir el inóculo sometido a selección.

La selección de poblaciones con varios factores de virulencia tiene un costo en la capacidad competitiva con respecto a las razas originales. Los individuos con varios genes de virulencia en el patógeno tendrán alta frecuencia en la población mientras exista una alta proporción de los genes de resistencia complementarios en la población del hospedante. Si se retiran los genes de resistencia del hospedante, las razas con factores de avirulencia innecesarios (genes innecesarios), tenderán a disminuir en las generaciones sucesivas del cultivo restableciéndose las poblaciones originales. Esto ha sido ampliamente demostrado en los patosistemas *Phytophthora infestans/ Solanum tuberosum* (Van der Plank, 1968) y *Puccinia tritici/ Triticum sativum* (Watson, 1958) y sucede en el patosistema *H.vastatrix/C. arabica*:

- En Kenya la mayor parte de la superficie está plantada de variedades susceptibles (Gichuru *et al.*, 2012) y están presentes las razas I (v2,5), II (v5), III (v1,5), VII (v3,5), XV (v4,5), XVII (v1,2,5), XV (v4,5), XX (v5,8), XXIII (v1,2,4,5), XXIV (v2,4,5), XXXVI (v2,4,5,8), XLI (v2,5,8), XLII (v 2,5,7, 8,9); el 90% de las poblaciones son de las razas I y II con presencia de (v5), las razas VII, XV y XX son de rara ocurrencia y el resto han sido identificadas en pocas muestras.
- En Colombia (Cristancho *et al.*, 2012), está presente la raza II (v5) ampliamente predominante y distribuida. De 30 muestras entre 2008 y 2011, 26 pertenecieron a raza II; fueron identificadas posteriormente las razas XXII (v6) XXIX (v2,5,6,9) y sólo en híbrido de Timor las razas XVII (v1,2,5), XXIII (v1,2,4,5), XXV (v6) y XXX (v5,8).

- En Brasil en estudios previos (Varzea y Márquez, 2005), informaron presentes 14 razas: I (v2,5), II (v5), III (v1,5), VII (v3,5), X (v1,4,5), XIII (v1,2,4,5), XV (v4,5), XVI (v1,2,3,4,5), VII (v1,2,5), XXI, XXII (v5,6), XXIII (v2,4,5), XXIV (v2,4,5), XXV (v2,5,6). La más distribuida la raza II (Zambolin, 2005).

En forma de resumen, en la Gráfico 7.1. está representado los componentes del tetraedro epidemiológico en el patosistema *H. vastatrix/Coffea spp*, así como los elementos principales que de cada componente. Las epidemias de roya del café estarán determinada por la interacción de los diferentes componentes del tetraedro.

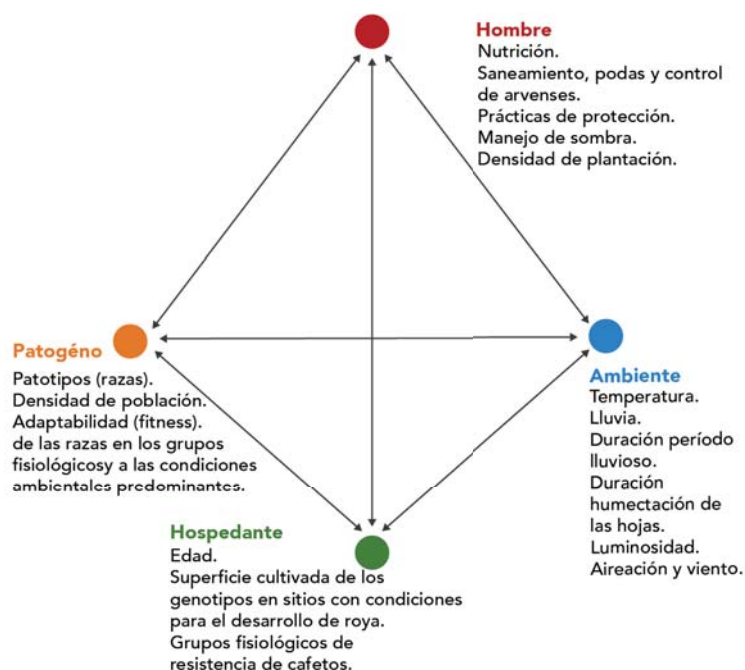


Gráfico 7.1. Tetraedro epidemiológico en el patosistema *H. vastatrix-Coffea spp*.

La severidad de las epidemias de roya estará determinada por la interacción de los componentes del tetraedro. Así mismo, con una adecuada manipulación de los componentes variables del mismo se podrá manejar eficientemente la enfermedad.

Evolución del manejo de la roya en Cuba

La roya del café fue por primera vez informada en el país en 1984. Su dispersión secundaria tuvo un fuerte componente antropogénico. Su incidencia es más severa en cafetos situados a nivel del mar y hasta 900 m de altura que en altitudes mayores. Es causante de fuertes defoliaciones y depresiones de hasta el 50% del rendimiento en variedades de *C. arabica* bajo condiciones muy favorables de humedad. La roya aunque enfermedad explosiva en cafetos susceptibles bajo condiciones favorables no ha causado daños significativos a la producción y se presenta con bajos niveles de prevalencia en general. Durante el 2008, debido a la afectación por huracanes, se presentó una alta incidencia de la enfermedad en relación a la superficie afectada durante años precedentes y posteriores.

Los estudios llevados a cabo con el patógeno indicaron que las esporas germinan exclusivamente en presencia de agua, óptimamente entre 23 y 25°C. La germinación de las uredosporas disminuye según aumenta la exposición inicial a la luz ($R^2 = 0,8585$) y se requieren al menos 4 horas de oscuridad inicial para que no se afecte la germinación. La germinación de las uredosporas incubadas inicialmente en la oscuridad por tres horas, disminuye proporcionalmente a la duración del período de exposición a la luz a que se someten posteriormente.

Las inoculaciones artificiales en hojas de diferentes edades, permitió determinar que las hojas del primer al tercer nudo son más susceptibles y que en éstas la enfermedad evoluciona más rápidamente y hay una mayor producción de esporas en las lesiones.

El manejo de la enfermedad se basa en el uso de variedades resistentes (Robusta, Isla, Híbrido de Timor) en plantaciones

compactas de estas variedades o intercaladas con variedades de la especie *arabica*. Las poblaciones de *H. vastatrix* presentes en los años ochenta del siglo XX, pertenecen a la raza II (v5). El Robusta y las variedades derivadas de *C. canephora* presentaban una alta resistencia a la enfermedad y las lesiones se presentaban como tumefacciones. En la actualidad, en estos híbridos se presentan lesiones compatibles que producen uredosporas, por lo que deben estar circulando razas más complejas del patógeno aspecto que debe ser estudiado en el futuro.

Las medidas culturales de manejo del cafetal para el control de la roya incluyen:

- Manejo de la sombra (con efectos controvertidos y variables dependiendo del contexto del campo): durante meses lluviosos, el exceso de sombra mantiene la humedad dentro de la plantación y alarga el secado del suelo y el follaje lo que favorece al desarrollo del patógeno y otras enfermedades como el ojo de gallo. La disminución de la incidencia de rayos solares tiene un efecto buffer contra oscilaciones extremas de temperatura y disminuye el impacto de la luz sobre la uredosporas y su efecto sobre la germinación de uredosporas. El exceso de sombra disminuye la carga productiva y los agricultores tienden a plantar más plantas agravando la situación de la humedad. El exceso de luminosidad favorece la carga de frutos y esto a su vez, el desarrollo de la roya. Las áreas con mayor incidencia de luz también tienen una tendencia a más incidencia de minador de la hoja y *Cercospora coffeanum* en hojas y frutos. La recomendación general actual es mantener una cobertura de sombra entre 45 y 65%.
- Distancia de plantación (población): depende de la fertilidad del suelo y las condiciones generales del sitio de producción. Hay que evitar sobre población que afecta competencia por nutrientes y aumenta humedad, sombreado y disminuye circulación de aire. En plantaciones muy densamente plantadas la humedad es alta y hay mayor

incidencia de *Mycena citricolor*.

- Poda: incrementa la producción. Elimina ramas viejas improductivas, evitando la competencia por nutrientes y contribuye al saneamiento de la planta; reduce el número de nudos para evitar sobrecarga de frutos y reduce estrés. Mejora aprovechamiento de nutrientes disponibles y el secado de las hojas después de una lluvia al mejorar aeración. La reducción del follaje reduce los sitios de infección para *H. vastatrix*. Permite el incremento de la luz y su efecto en la inhibición de la germinación de las uredosporas
- Nutrición: se basa en el uso de abono verde, el aprovechamiento de la pulpa de café para producción de humus de lombriz, para viveros y siembras; producción de compost y aplicación en siembra y plantaciones, para mejorar los suelos; producción de micorrizas para su uso en viveros; aplicación de enmiendas calcáreas y abono orgánico en los suelos muy ácidos que se vayan a fertilizar. La fertilización química está dedicada a los fomentos y viveros.
- Biocontrol. Los soros de roya son parasitados por diferentes hongos entre los que se destaca el *Lecanicillium lecanii*. En las plantaciones de café se encuentran diferentes variantes del biocontrol parasitando *C. viridis* y pústulas de roya. Aunque se han informado diferentes variantes de *V. lecanii*, se requiere un estudio de variabilidad taxonómica y filogenia más detallado. *L. lecanii* demanda alta humedad relativa para un parasitismo eficiente. La curva natural de desarrollo del porcentaje del parasitismo tiene un retardo en relación al desarrollo de la roya en el campo. Por este motivo, se realizan en algunos sitios, aplicaciones inundativas con esporas del patógeno que son decididas mediante muestreo de pústulas latentes, esporuladas y parasitadas.
- Control químico. Para el manejo de la roya se han registrado los fungicidas cúpricos y triazoles sistémicos. Sin embargo, se utilizan solamente en casos extremos, cuando la intensidad de la enfermedad haga peligrar la plantación.

Consideraciones finales

H. vastatrix es un organismo altamente variable que establece una interacción biotrófica con su hospedante con más de 40 razas del mismo, determinadas mediante relaciones gen a gen. Los mecanismos moleculares del reconocimiento patógeno-hospedante se establecen durante el proceso de establecimiento de los haustorios e hifas de infección. Las variaciones en los elicitores durante el proceso de infección pueden ser los determinantes de las diferencias raciales. Predominan en la mayoría de los países, las poblaciones del patógeno con genes de avirulencia v2 y v5. Las razas más complejas han ido apareciendo en híbridos con resistencia proveniente del híbrido de Timor. Su frecuencia sin embargo, indica que no son las más agresivas ni predominantes cuando no están presentes los genes de resistencia en la población del hospedante. La presión de selección de razas virulentas depende entonces de la superficie cultivada con variedades portadoras con los genes de resistencia, de la población del patógeno sometida a selección (intensidad de inóculo ambiental) y de la duración de los períodos favorables a la infección (número de generaciones del patógeno en el período favorable) así como eventuales factores de predisposición en la planta determinados por factores ambientales del cultivo y climáticos. Las epidemias actuales de roya en Centroamérica (inóculo disponible por prácticas deficientes de cultivo y condiciones climáticas favorables) no es consecuencia de la aparición de nuevas razas del patógeno.

El cultivo de plantas resistentes a la roya es la estrategia más económicamente sostenible de control de la enfermedad, pero tiene que ser apoyada con adecuadas prácticas de manejo del cultivo que potencien la capacidad productiva, reduzcan las condiciones ambientales favorables al desarrollo de la enfermedad, la predisposición del cultivo a la infección y reduzcan la presión de selección de nuevas razas (nutrición, control de arvenses, densidad de plantación, manejo de sombra, etc.)

Instituciones cubanas involucradas en investigaciones en café:

- Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), Ministerio de Agricultura: Fitopatología; desarrollo antagonistas microbiológicos y parasitoides; manejo en general.
- Estación Experimental Café III Frente, Ministerio de Agricultura: Genética y mejoramiento; cultivo, agroecología, manejo de plagas.
- Universidad de Oriente (Santiago de Cuba), Ministerio de Educación Superior: Agroecología, cultivo, manejo integrado de plagas.
- Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), Ministerio de Educación Superior: Fitopatología, entomología, nemátodos entomopatógenos para control de broca.
- Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP) de la Universidad Central de las Villas, Ministerio de Educación Superior: Sistemas de organogénesis y embriogénesis, resistencia genética a estrés biótico y abiótico.
- Instituto Nacional de Ciencia Agrícola (INCA), Ministerio de Educación Superior: Biotecnología, mejoramiento, cultivo, agroecología, suelos y agroquímica.

Referencias bibliográficas

- Avelino, J., Willocquet, L., Savary, S. 2004. *Plant Pathology* 53, 541–547.
- Avelino, J., Zelaya, H., Merlo, A., Pineda, A., Ordoñez, M.E., Savary, S. 2006. *Ecological Modelling* 197, 431–447.
- Bergamin-Filho, A. 1976. *Summa Phytopathol.*, 2, 103
- Coutinho, T.A., Rijkenberg, F.H.J., Van Asch, M.A.J. 1993. *Can. J. Bot.* 71, 1001-1008.
- Cristancho A.M., Escobar O.C., Ocampo, J.D. 2007. *Cenicafé* 58(4), 340-359.

- Eskes, A.B. 1983. *European Journal of Plant Pathology* 89: 31-45.
- Flor, H.H. 1954. *US Dept. Agr. Tech., Bull.* 1087.
- Flor, H.H. 1959. Genetic controls and host parasite interactions in rust diseases. In: Holton, CS., Fisher G.W., Fulton, R.W., Hart, H. and McCallan, S.E.A. (eds.), *Plant Pathology, Problem and Progress*. pp 137-144. University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, USA.
- Gouveia, M.M., Ribeiro, A., Várzea, V.M.P., Rodrigues Jr., C.J. 2005. *Mycologia* 97: 396–404.
- Gueddari, N.E., Rauchhaus, U., Moerschbacher, B.M., Deising, H.B. 2002. *New Phytol.* 156, 103-112.
- MalghãesVieira, A.C. 2010. Identification and expression analysis of genes putatively involved in pathogenicity of *Hemileia vastatrix* to *Coffea arabica*. Thesis Dissertation. Faculty of Sciences University of Lisbon, Portugal. pp 60.
- Martins, E.M.F., Moraes, W.B.C. 1996. *J. Phytopathol.* 144, 519-526.
- Rodrigues Jr., C.J., Bettencourt, A.J., Rijo, L. 1975. *Annual Rev. Phytopathol.* 13, 49-70.
- Rodrigues Jr., C.J., Várzea, V. M. P.; Silva, M. C., Guerra-Guimarães, L., Rocheta, M., Marques, D.V. 2000. Recent advances on coffee leaf rust. In: *International Scientific Symposium on Coffee*. 4 de diciembre de 2000. Bangalore, India, Central Coffee Research Institute. *Proceedings Coffee Board*. p. 179-193.
- Sera, G.H., Sera, T., Saori Ito, D., de Azevedo, J.A., Da Mata, J.S., Saori Dói, D., Ribeiro Filho, C. and Kanayama, F.S. 2007. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 50 (5), 753-757.
- Silva, M.C., Nicole, M., Guerra-Guimarães, L., Rodrigues, J. 2002. *Mol. Plant. Pathol.* 60, 169-183
- Silva, M.C., Várzea, V., Guerra-Guimarães, L., Azinheira, H.G., Fernández, D., Petitot, A.S., Bertrand, B., Lashermes, P., Nicole, M., 2006. *Braz. J. Plant Physiol.* 18, 119-147.
- Van der Plank, J.E. 1968. *Disease resistance in plants*. Academic Press, New York, pp. 206
- Várzea, V.M.P, Marques, D.V. 2005. Population of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: Zambolim, L., Zambolim, E., Várzea V.M.P. (eds.), *Durable resistance to coffee leaf rust*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, pp.53-74.
- Várzea, V., Rodríguez, J.C., Silva, M.C., Marques, D.V., Moreno, G., Castillo, J., Alvarado, G., Ramachandran, M., Naidu, R., Bhat, S. 2001. Pathotypes of *Hemileia vastatrix* with the ability to break the resistance of improved commercial coffee varieties. Abstract A127. 19th International Coffee Conference on Coffee Science. ASIC, Trieste, Italy, 14-18 May
- Várzea, V.M.P.; Rodrigues Jr., C. J.; Silva, M.C.M.L., Gouveia, M., Marques, D.V., Guerra-Guimarães, L.; Ribeiro, A. 2002, Resistência do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*. In: Zambolim, L. (Ed.). *O Estado da arte de tecnologias na produção de café*. Viçosa Cap. 8.: UFV. p. 297 – 320.
- Watson, I.A. 1953. *Agr. Gaz. N.S. Wales*, 69, 630-660.
- Wolfe, M.S. 1982. Dynamics of pathogen population in relation to fungicide resistance. In: Dekker, J and Georgopoulos, S.G. (eds.) *Fungicide resistance in crop protection*. Pp 139-148 Editorial Pudoc, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen Univ. The Netherland.



8. Microbiomas y Control Biológico de la Roya Anaranjada del Cafeto¹²

Luis C. Mejía¹³

La roya anaranjada del cafeto, causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk & Broome es la enfermedad más devastadora de este cultivo (Lewin et al. 2004). *Hemileia vastatrix* infecta y coloniza las hojas de cafeto y causa disminución de la capacidad fotosintética y defoliación de las plantas afectadas, lo que conlleva usualmente a pérdidas de 20 a 30% de cosecha cuando no se aplica tratamiento (Avelino y Rivas 2013, Kushalappa y Eskes 1989b). En América, el primer reporte de roya del cafeto se dio en Brasil en 1970 y para 1985 se había extendido a todas las zonas productoras de Latinoamérica (Arneson 2000). En 2012 se dio una epidemia de roya considerada por algunos como la más

devastadora en el continente americano y se estima que causó pérdidas de 19% de la cosecha en Centroamérica y Panamá y en general entre el 40 a 50% desde México hasta Perú (Avelino y Rivas 2013, Cressey 2013, PROMECAFE & IICA 2013, Vandermeer et al. 2014). La recurrencia de las epidemias de roya junto con el impacto socio-económico y ambiental que conlleva el manejo y control de las mismas, principalmente mediante el uso de fungicidas, son motivos significativos para investigar desarrollo de alternativas de control de esta enfermedad.

El microbioma de una planta es la totalidad de microorganismos que la habitan interna y externamente y

12. Esta investigación fue realizada con apoyo de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT) a través de subsidio otorgado a LCM como miembro del Sistema Nacional de Investigación y a través de proyecto SENACYT ITE11-19. Se agradece a Miguel Cervantes, Ana Castillo, Gloribel Vergara y Evangelina López su ayuda con la generación de información en campo o laboratorio presentada en este escrito. Gracias a Café de Eleta S.A. y a los señores Roberto Brenes, Kelly Hartman y Abdiel Jaramillo y por su hospitalidad y por permitir el acceso a sus cafetales para el estudio de microorganismos del cafeto

13. Investigador en el Centro de Biología Celular y Molecular de Enfermedades, Instituto de Investigaciones Científicas Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT AIP) y en el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales de Panamá, República de Panamá

contienen especies con potencial de controlar la roya. Estos microbiomas son altamente diversos y cada vez más reconocidos por sus efectos en la salud y productividad de las plantas. En los últimos veinte años se han realizado numerosos trabajos sobre la composición de especies endófitas (aquellas que colonizan plantas interna y asintóticamente) de los microbiomas de muchas plantas cultivadas y silvestres. De estos estudios se ha determinado que sus microbiomas contienen especies capaces de ayudar a sus hospederos a tolerar condiciones bióticas y abióticas adversas como enfermedades, daño por insectos plaga, alta salinidad y altas temperaturas (Mejía et al. 2009, Porras-Alfaro y Bayman 2011, Rodríguez et al. 2009, Vega et al. 2005). En el caso del café, se han aislado hongos entomopatógenos, hongos fungícolas y nematodos patógenos, así como también se han desarrollado métodos de inoculación de los mismos (Belayneh Mulaw et al. 2013, Gonzales et al. 2013 Mekete et al. 2009, Posada et al. 2007, Vega et al. 2005, 2008).

En cuanto a la búsqueda de controladores biológicos de *H. vastatrix* en el microbioma del café, se han reportado especies de bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* con capacidad de inhibir la germinación y reducir la incidencia de roya (Daivasikamani y Rajanaika 2009, Haddad et al. 2009, Shiomi et al. 2006). De los hongos evaluados del microbioma del café destaca *Lecanicillium lecanii*, una especie de hongo entomopatógeno y micoparásito común en cafetales, con amplio rango de hospederos, pero particularmente patógeno en insectos escama como la escama del café *Coccus viridis* y también parasítico sobre la roya *H. vastatrix* (Jackson et al. 2012, Kushalappa and Eskes 1989b, Vandermeer 2009). De estos estudios se puede decir que el microbioma del café es altamente diverso taxonómicamente, con cientos de especies de hongos y bacterias. De estos, solo unas pocas especies han sido

evaluadas en su capacidad de controlar la roya y por lo tanto existe buen potencial de encontrar más enemigos naturales de la roya que podrían ser utilizados para su control.

Los métodos para manejar la roya anaranjada del café son diversos e incluyen el uso de diferentes prácticas culturales (por ejemplo, el manejo de la sombra en la plantación), el uso de fungicidas, el seguimiento de medidas cuarentenarias, y el uso de variedades resistentes (Arneson 2011, Avelino y Rivas 2013). La eficacia de estos métodos ha sido temporal ya que frecuentemente ocurren brotes epidémicos de la enfermedad con pérdidas significativas. Una alternativa relativamente poco estudiada para el manejo de la roya es el control biológico utilizando especies del microbioma foliar del café. El control biológico puede definirse como el uso de un organismo para suprimir las actividades y poblaciones de otro organismo y se ha utilizado para manejar insectos plaga, patógenos y malas hierbas y otros tipos de plantas no deseadas. El control biológico de patógenos es cada vez más utilizado y en el caso de control de la roya del café se encuentra en fase experimental.

El desarrollo de productos de control biológico requiere de estudios sobre la ecología y biología de los agentes de control biológico en condiciones naturales, incluyendo su interacción con el ambiente y organismo que se quiere controlar. El control biológico de la roya anaranjada del café podría ser particularmente importante en sistemas de producción orgánica o con bajo uso de pesticidas. El control biológico de organismos tipo roya ha sido evaluado en muchos cultivos con buenos resultados y en el caso del café se han usado microhongos y bacterias de la superficie de las hojas para control de roya del café (Ganley et al. 2008, Jackson et al. 2012, Podile y Kishore 2002, Vandermeer et al. 2009).



Figura 8.1. Cafetal en manejo agroecológico. Panamá ©FAO/Luis C. Mejía

En Panamá realizamos un muestreo de hongos endófitos asociados al cafeto con el propósito de generar conocimiento básico sobre la diversidad taxonómica y rol de hongos endófitos en control de *H. vastatrix*. El objetivo fue encontrar microorganismos con capacidad de controlar biológicamente a *H. vastatrix*. El muestreo en cafeto fue realizado en seis fincas donde se aplican fungicidas contra roya y se cuantificó el porcentaje de colonización de hojas por endófitos. El promedio del porcentaje de colonización de hongos endófitos por finca varió entre 10 a 48% (32 pedacitos de $\sim 4 \text{ mm}^2$ por cada una de 24 hojas maduras muestreadas). A partir de este

muestreo se obtuvieron 282 aislamientos que fueron clasificados en 131 morfoespecies de hongos endófitos. El porcentaje de colonización obtenido fue relativamente bajo comparado con otros estudios donde se han aislado endófitos foliares de cafeto, pero la diversidad es comparable (Vega et al. 2009). Cinco de las morfoespecies aisladas mostraron capacidad de inhibir el crecimiento de otros hongos y uno mostró capacidad de inhibir germinación de uredosporas de *H. vastatrix* (Mejía et al. Datos sin publicar). Los próximos pasos de este trabajo incluyen la generación de plantas de cafeto simbióticas con el hongo que inhibe la germinación de *H. vastatrix*.



Figura 8.2. Muestras de cultivos de hongos endófitos aislados en hojas de café en Panamá. ©FAO/Luis C. Mejía

El aislamiento de hongos endófitos de hojas de cafeto con actividad anti-hongos y de inhibición de germinación de roya con este bajo muestreo sugiere buen potencial para encontrar más hongos antagonistas de *H. vastatrix*. Una estrategia de control biológico aumentativo con hongos inhibidores de germinación de *H. vastatrix* o que aumenten la resistencia del cafeto a este patógeno tienen el potencial de afectar el ciclo de *H. vastatrix* y por

lo tanto su manejo, lo que conllevaría a reducir pérdidas de cosecha debido a este patógeno. Estas estrategias tienen el valor agregado de ser amigables con el ambiente y la salud de los agricultores y compatibles con prácticas de producción orgánica de café.

Referencias bibliográficas

- Arneson, P.A. 2000. *Coffee rust. The Plant Health Instructor*. DOI: 10.1094/PHI-I-2000-0718-02. Updated 2011.
- Avelino, J. y Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del café. Versión electrónica N1 del 03/12/13. 47p.
- Mulaw, T.B., Druzhinina, I.S., Kubicek, C.P., and Atanasova, L. 2013. Novel endophytic *Trichoderma* spp. isolated from healthy *Coffea arabica* roots are capable of controlling coffee tracheomycosis. *Diversity*, 5: 750-66.
- Cressey, D. 2013. Coffee rust regains foothold. *Nature*. (493). 587.
- Ganley R. J., Snieszko R. A. & Newcombe G. 2008. Endophyte-mediated resistance against white pine blister rust in *Pinus monticola*. *For Ecol Manage* 255: 2751-2760.
- González, D.G., Caballero, S., Contreras, G., González O, F., Mejía, L. C. 2013 Caracterización Morfológica y Molecular de Cepas Nativas de Hongos Entomopatógenos en Panamá. Memoria 58 Reunión Anual de PCCMCA (Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales). 139 p.
- Haddad, F., Saraiva, R.M., Mitzubuti, E. S.G., Romeiro, R., Maffia, Luiz A. 2013. Antifungal compounds as a mechanism to control *Hemileia vastatrix* by antagonistic bacteria. *Tropical Plant Pathology* 38(5) 398-405.
- Jackson D, Skillman J & Vandermeer J. 2012. Indirect biological control of the coffee leaf rust, *Hemileia vastatrix*, by the entomogenous fungus *Lecanicillium lecanii* in a complex coffee agroecosystem. *Biol Control* 61: 89-97.
- Kushalappa, A.C., Eskess, A.B. 1989b. *Coffee Rust: Epidemiology, Resistance, and Management*. CRC Press. 360 p.
- Lewin, B., Giovanucci, D., Varangis, P. 2004. *Coffee Markets: New paradigms in Global Supply and Demand. Agricultural and Rural Development Discussion Paper No. 3*. International Bank for Reconstruction and Development. Washington DC, USA.
- Lundberg, D. S., Lebeis, S. L., Paredes, S. H., Yourstone, S., Gehring, J., Malfatti, S., Dangl, J. L. 2012. Defining the core *Arabidopsis thaliana* root microbiome. *Nature*, 488(86-90).
- Mejía, L.C., Herre, E.A., Singh, A., Singh, V., Vorsa, N., White, J.F. 2009. Fungal endophytes: defensive characteristics and implications for agricultural applications. In: White, J.F. and Torres, M., eds. *Defensive Mutualism in Microbial Symbiosis*. Pp. 367-384. CRC Press.
- Mejía, L.C., Rojas, E.I. Maynard, Z., Van Bael, S. Arnold, A.E., Hebbbar, P.H., Samuels, G.J., Robbins, N., Herre, E.A. 2008. Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. *Biological Control* 46:4-14.
- Mekete, T., Hallmann, J., Kiewnik, S., & Sikora, R. 2009. Endophytic bacteria from Ethiopian coffee plants and their potential to antagonise *Meloidiogyne incognita*. *nematology*, 11(1), 117-127.
- Podile, A.R., Kishore G.K. 2002. *Biological control of peanut diseases*. In *Biological Control of Crop Diseases*. Ed. S.S. Gnanamanickam. pp131-160. Marcel Dekker, New York City.
- Porrás-Alfaro, A. & Bayman, P. 2011. Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. *Annual Review of Phytopathology*, 49, 291-315.
- Posada, F., Aime, M.C., Peterson, S.W., Rehner, S.A., & Vega, F.E. 2007. Inoculation of coffee plants with the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Mycological Research*, 111, 748-757.
- PROMECAFE & IICA 2013. La crisis del café en Mesoamérica. Causa y respuesta apropiadas. 8pp. www.promecafe.org.
- Rodríguez R.J., White J.F., Jr., Arnold A.E. & Redman R.S. 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytol* 182: 314-330.

Santamaría, J., & Bayman, P. 2005. *Fungal epiphytes and endophytes of coffee leaves (Coffea arabica)*. *Microbial Ecology*, 50, 1-8.

Shiomi, H.F., Alves Silva, H.S., Soares de Melo, I., Vieira Nunez, F., Bettiol, W. 2006. *Scientia Agricola* 63(1) 32-39.

Shiomi, H.F., Silva, H.S.A., Melo, I.S., Nunes, F.V., Bettiol, W., 2006. Bioprospecting endophytic bacteria for biological control of coffee leaf rust. *Scientia Agricola* 63, 32-39.

Somarriba, E., Harvey, C.A., Samper, M., Anthony, F., Gonzalez, J., Staver, C., Rice, R.A. 2004. *Biodiversity Conservation in Neotropical Coffee (Coffea arabica) Plantations*. 198-226. In *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Edited by Schroth, G., da Fonseca, G. A.B., Harvey, C. A., Gascon, C., Vasconcelos, H. L., Izac, A.M. N. Island Press, Washington DC.

Turner, T.R., James, E.K., & Poole, P.S. 2013. *The plant*

microbiome. *Genome Biology*, 14(209). doi: 10.1186/gb-2013-14-6-209

Vandermeer, J., Jackson, D., & Perfecto, I. 2014. *Qualitative Dynamics of the Coffee Rust Epidemic: Educating Intuition with Theoretical Ecology*. *BioScience*, 64(3), 210-218. doi: 10.1093/biosci/bit034

Vandermeer, J., Perfecto, I., & Liere, H. 2009. Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii*, through a complex ecological web. *Plant Pathology* (58), 636-641.

Vega, F.E., Posada, F., Aimee, M.C., Peterson, S.W., & Rehner, S.A. 2008. *Fungal endophytes in green coffee seeds*. *Mycosystema*, 27(1), 75-84.

Vega, F.E., Pava-Ripoll, M., Posada, F., & Buyer, J.S. 2005. *Endophytic bacteria in Coffea arabica L.* *Journal of Basic Microbiology*, 45(5), 371-380.

9. Avances y Resultados sobre el Manejo Agroecológico y Roya en el Cultivo del Café, en la Región Huista, Huehuetenango, Guatemala

Israel Cifuentes¹⁴



La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala, y algunas organizaciones de caficultores, con apoyo de la cooperación internacional, están promoviendo la construcción de resiliencia, mediante el manejo y control agroecológico en el cultivo del café, para una producción sostenible. El proyecto *Fortalecimiento en la región mesoamericana de la resiliencia de la agricultura familiar, a través de la prevención y respuesta efectiva frente a enfermedades fitosanitarias y zoonositarias*, inició en junio de 2015, acciones en la Región Huista, departamento de Huehuetenango, Guatemala, con, entre otros objetivos, impulsar el manejo agroecológico en el cultivo del café.

Se implementó un plan de capacitación a promotores y caficultores sobre manejo agroecológico de sus cafetales. Se capacitó sobre la importancia y función de los biofermentos, los biofertilizantes

y los microorganismos de montaña en las plantaciones de café. Además se realizaron formaciones para la elaboración de productos orgánicos para el control de la roya, y otras prácticas de manejo agro-ecológico del cultivo, como la producción de lombricompost y el uso de los subproductos.

Debido a lo complejo e innovador del tema, los eventos de capacitación se están realizando de manera teórica y práctica, donde además se está brindando un fuerte acompañamiento técnico en campo a los caficultores y promotores.

Simultáneamente a la implementación del plan de capacitación se inició la promoción e implementación de las biofábricas en los diferentes grupos y organizaciones de caficultores, para la producción de fungicidas orgánicos y biofermentos para el control de la roya y para mejorar la nutrición de las plantaciones de café.

En 2016, se cuentan 18 bio-fábricas con igual número de grupos, de 10

14. Consultor-FAO Guatemala

organizaciones cafetaleras (GUAYAB, ADIESTO, ADAT, AIDEC, BITENAM, Cooperativa Rio Limón, ASOCUC, ADESC, ASCAFCA, y CADERs MAGA Unión Cantinil).

En 2016, se cuentan 18 bio-fábricas con igual número de grupos, de 10 organizaciones cafetaleras (GUAYAB ADIESTO, ADAT, AIDEC, BITENAM, Cooperativa Rio Limón, ASOCUC, ADESC, ASCAFCA, y CADERs MAGA Unión Cantinil). Para el año 2017 se estarán implementando 40 biofábricas más, con el apoyo de las Agencias Municipales de Extensión Agrícola del MAGA.

El proceso de implementación de las biofábricas inició con la elaboración de los microorganismos de montaña sólidos, para su reproducción, y con los microorganismos de montaña líquidos. Posteriormente se formularon los biofermentos, a partir de los cuales se han ido produciendo a mayor escala biofermentos para la floración, para el hinchamiento de granos, para el llenado del grano, para el aumento de peso y maduración del grano, y el *supermagro* para corregir deficiencias nutricionales en el cultivo del café.



Figura 9.1. Socios trabajando en la biofábrica ©FAO/Israel Cifuentes

De igual manera se están elaborando fungicidas orgánicos a base de azufre, donde además se agregan otros ingredientes como cal, ceniza y harina de rocas. Este caldo multimineral funciona como fungicida y como fertilizante foliar, debido a que además de los ingredientes anteriores se le agregan minerales,

quienes funcionan como fertilizante foliares. También se producen caldo bordelés y caldo visosa, con efecto fungicida que sirve para el control de la roya, y también para la nutrición de las plantas de café. En la tabla 9.1, se recoge la producción de las biofábricas.



Figura 9.2. Trabajo en biofábrica de Guatemala ©FAO/Israel Cifuentes

Nombre del producto	Cantidad (litros).	Área potencialmente cubierta (ha).
BIOFERTILIZANTES		
Supermagro	2 640	58,214
Biofermento para la floración	1 925	42,448
Biofermento para el hinchamiento del grano	1 540	33,958
Biofermento para llenado de granos	660	14,553
Biofermento para mejor peso y maduración	1 540	33,958
Total	8 305	
FUNGICIDAS ORGANICOS		
Caldo Multimineral	1 010	22,271
Caldo Sulfocálcico	4 832(*)	106,549
Caldo Bordelés	450	9,923
Caldo Visosa	860	18,964
Total	7152	

Tabla 9.1. Producción de productos orgánicos en las 18 biofábricas de los grupos de café de los Huista

Actualmente se están trabajando con 1200 caficultores en 16 municipios de Huehuetenango, y la meta es llegar a 3000 caficultores en el 2017. Además esta experiencia ya fue transferida a 11 municipios del departamento de San Marcos, 2 municipios del departamento de Jalapa y 3 municipios del departamento de Chiquimula.

Se han analizado, por el laboratorio de suelos, plantas y aguas ANALAB, de la Asociación Nacional del Café ANACAFE, los abonos orgánicos líquidos, los biofermentos para la floración y el *Supermagro* proveniente de las comunidades de Guantán y El Triunfo. Los resultados muestran que los nutrientes que poseen cada una de las muestras son adecuados, en relación a los requerimientos nutricionales de la planta de café. Sin embargo en lo referente al pH, el biofermento para la floración de la comunidad de Guantán, está muy alto con un valor de 8,18, por lo que se están haciendo las consultas técnicas, para poder bajar el pH al valor neutro adecuado.

Paralelamente se está realizando un estudio en campo, donde se está evaluando la efectividad de los productos orgánicos, en lo referente al control de la roya y la mejora de la nutrición de la planta de café. En dicha evaluación se están midiendo las variables de incidencia, severidad, granos por racimo, racimos por bandola, vigorosidad del follaje y color el follaje. Los resultados preliminares son los siguientes.

Biofertilizante "Supermagro": este insumo ha contribuido a

corregir las deficiencias nutricionales en las plantaciones de café. Tales como deficiencia de calcio, nitrógeno y hierro. Además las plantas poseen un mejor desarrollo vegetativo, Las hojas son más grandes y gruesas; lo cual limita la penetración del hongo de la roya y la incidencia se ha mantenido en un 5 al 10%. También se da mayor crecimiento de la planta en altura y largo de bandolas lo que asegura tener mayor área foliar para la conversión de energía lumínica en alimentos y generar las condiciones de vigorosidad y producción, generando mayor cantidad de flores y granos que determinaran la producción de la cosecha del próximo año.

Biofertilizante foliar para la floración: ayudó a un mayor cuajado del grano en la planta, evitando así el aborto de la flor, traduciéndose en mayor cantidad de granos que permitirán tener mejores rendimientos en el momento de la cosecha.

Biofertilizante foliar para la formación de frutos: Este biofermento contribuyó al crecimiento homogéneo del grano en la bandola. Mientras en las parcelas testigo no se observa esta situación, donde los granos ubicados en el extremo de las bandolas crecieron poco, debido a la escasez de nutrientes que alcanzan esa parte de la planta.

Biofertilizante foliar para el llenado e hinchamiento de granos: Este biofermento está contribuyendo al desarrollo del grano del café.

Biofermento para aumento de peso y maduración del grano: este biofermento foliar está contribuyendo a la constitución del grano, reflejándose en mayor peso del grano, menor conversión de cereza a pergamino. Además se observa una maduración uniforme del grano, una mayor cantidad de mucilago y se espera obtener mejor calidad de taza.

También se ha observado que al aplicar los biofertilizantes para la nutrición del grano de café, se activan los meristemos apicales de la planta (raíces y parte aérea), lo cual ayuda al crecimiento de la planta. Esto se debe a que se aplica el elemento necesario en cada etapa fenológica del cultivo y otros ingredientes como los Microorganismos de Montaña. Por ejemplo en floración solo se necesita Boro, pero además se agregan los Microorganismos de Montaña Líquidos, quienes activan y descomponen los nutrientes, para hacerlos más asimilables para la planta, además son activadores de puntos de crecimiento en la parte aérea de la planta y raíces. Los otros ingredientes como el estiércol proveen nitrógeno, la ceniza fósforo y potasio, la harina de rocas proporciona calcio, magnesio, hierro y fósforo.



Figura 9.3. Cafetal de cultivo agroecológico en Guatemala
©FAO/Israel Cifuentes

“Vale la pena esforzarse para alcanzar buenos resultados”

D. Jesús López



Figura 9.5. El productor Jesús López en su cafetal. Guantán, Huehuetenango, Guatemala. ©FAO/Israel Cifuentes

Don Jesús López, casado y con dos hijos, tiene 41 años de edad. Desde hace dos años es promotor de un grupo de 15 caficultores de la comunidad de Guantán, en el municipio de Unión Cantinil, Huehuetenango, Guatemala y es socio de la Asociación ADIESTO.

Don Jesús posee un cafetal de 18 cuerdas (0,78 hectáreas), con un rendimiento de 3 quintales de café pergamino por cuerda, en la cosecha 2015/16, debido al buen manejo que le dio a su cafetal. Este año la plantación está bien cargada y piensa que va a cosechar lo mismo o más, gracias al manejo agroecológico, pese a la bianualidad que suele presentar el café.

“Empecé con los productos agroecológicos cuando nos empezaron a capacitar sobre cómo hacer los productos o líquidos. El procedimiento que hemos seguido es que primero hicimos y aplicamos el caldo multimineral para el control de la roya. Esto fue en el mes de abril; luego en el mes de mayo hicimos el biofermento para la floración y el supermagro. Ahora estamos preparando el biofermento para el llenado del grano y en el mes de septiembre estaremos elaborando el biofermento a base de potasio para la maduración del grano”.

“Estamos agradecidos con la FAO por las capacitaciones que nos han dado, en el manejo agroecológico del cultivo del café, pero también creo que vale la pena esforzarse para alcanzar buenos resultados. Hoy pienso que va haber más cosecha, porque hay poca roya y porque las plantas están bien cargadas, por los productos orgánicos que estamos aplicando”.

“En cuanto a los gastos en mi caso voy a tener una economía, ya que antes cuando no usaba estos productos gastaba 4 000 Quetzales (520 USD) en las 18 cuerdas, para la compra de fertilizantes foliares y fungicidas para la roya; ahora solo voy a gastar 900 Quetzales (115 USD). Además estos productos orgánicos tendrán efecto positivo en la cosecha de este año, así como para la cosecha del otro año”.

“En los cafetales donde se han aplicado estos productos hemos observado lo siguiente: hay un buen amarre del grano; los cafetales tienen más follaje y más brotes tiernos; las hojas se ven más gruesas, se ven más insectos benéficos y hay más carga”.

Don Jesús y los integrantes del grupo piensan que mejorando los cafetales aumentarán los rendimientos, disminuirán los costos y venderán el café a mejor precio, “ya que no tiene químicos”. Además están ayudando a disminuir la contaminación ambiental y a resguardar los animalitos que existen en los cafetales.

“El otro año vamos a elaborar el doble de los productos, para aplicar más a todos los cafetales de los integrantes del grupo. Hay otros caficultores que no son del grupo y que quieren comprarnos productos. Además las puertas están abiertas para que entren al grupo”. “Manejar los cafetales con productos agroecológicos es una buena recomendación que le doy a todos los pequeños caficultores”



10. Aplicación de Bioplaguicidas (*Beauveria bassiana*) y Fertilización Orgánica en el Cultivo de Café (*Coffea arabica* L): Experiencia del Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua 2013-2014

Juan Carlos Moran-Centeno¹⁵

Introducción

En Nicaragua el cultivo del café, constituye el rubro de mayor importancia en el sector agrícola, de acuerdo a datos del Banco Central de Nicaragua, y el sexto lugar de importancia en el producto interno bruto (PIB), constituyendo el 18,2% de las exportaciones totales de la nación. Este sector cafetalero genera alrededor de 300 000 empleos directos, esto constituye el 53% de los puestos de trabajo del sector agropecuario y el 14% del total del país.

En la actualidad este importante sector productivo está conformado por 44 519 productores, quienes cultivan 180 219,7 manzanas (126 915,28 hectáreas), con áreas menores a las cinco hectáreas. Las principales zonas productoras de café son: Jinotega (35%), Matagalpa (28%), Nueva

Segovia (24%) y resto de zonas cafetaleras del país el 13%, cultivando este rubro a altitudes comprendidas entre los 365 y los 1500 metros sobre el nivel del mar (CENAGRO, 2002).

En el país, el cultivo de café, está siendo afectado por diversos plagas, principalmente, la roya (*Hemilea vastatrix*), que afecta las hojas de las plantas, causando defoliaciones severas, y la broca (*Hypothenemus hampei*), que afecta los frutos, causando pérdidas directas en la producción. Esta plaga presenta una alta endogamia, dando lugar a muchas hembras y pocos machos. Estos no vuelan y permanecen dentro del fruto. Las hembras fertilizadas salen del fruto en buscas de nuevos frutos de café.

Debido a la importancia de este insecto en las plantaciones de café, se

15. Programa para el Desarrollo Participativo Integral Rural, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

han implementado diferentes estrategias de control, desde la aplicación de insecticidas químicos hasta control integrado de la broca, en donde la implementación de muestreos y umbrales económicos. El uso de controladores biológicos como *Beauveria bassiana*, ha demostrado gran efectividad contra la broca, a medida que se incrementan las aplicaciones aumenta la eficiencia la mortalidad de la broca (Arcilla et al., 2006).

Duarte (2015) menciona que otro factor condicionante en la producción de café es la disponibilidad de agua y la fertilización a la que es sometida la planta, durante su crecimiento, desarrollo y producción. Considerando la importancia del cultivo del café en pequeñas fincas productoras de la comunidad el Castillito, y su ubicación dentro de la Reserva Natural *Tepec-Xomolth La Patasta*, se trabajó con los productores, efectuando el control de la broca del café, empleando el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*,

complementado con la aplicación de biofertilizante líquido a base de estiércol de ganado bovino, con el objetivo de compararlo con el manejo tradicional que los productores realizan en sus plantaciones.

Características generales de la comunidad El Castillito

De acuerdo a la alcaldía de Las Sabanas (2007), las comunidad de El Castillito se encuentra dentro del municipio de Las Sabanas están muy cercanas a la Reserva Natural Tepec Xomolth La Patasta. Tiene un relieve abrupto, con pendientes entre el 30-75 % y suelos moderadamente profundos a muy superficiales (25–90 cm), textura franco-arcillosa y pH con promedio de 6.2. El clima varía en función de la altitud: tipo tropical seco en las zonas bajas, y tropical húmedo en las partes más elevadas y montañosas (Tabla 10.1).

Departamento	Municipio	Latitud (UTM)	Longitud (UTM)	Altitud (msnm)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Madriz	Las Sabanas	541478 540425	1471650 1476492	1000-1735	18-26	2000-4000

Tabla 10.1. Información sobre las características generales del municipio de Las Sabanas.

Metodología

Durante el período 2013-2014, se realizaron diferentes reuniones y encuestas productivas con los habitantes de la Comunidad El Castillito, con la finalidad de conocer las diferentes problemáticas que afectan la comunidad en el sector agropecuario, partiendo de la visión que sean los pobladores los agentes de cambios dentro de sus territorios (Querol *et al.*, 2014). Entre los temas de interés por parte de las familias, destacó el manejo de la broca del café en armonía con el medio ambiente. Por ello, se seleccionaron tres fincas en donde se cultiva café a pequeña escala (0,25 hectáreas). En ellas, se aplicó el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, mediante la fórmula comercial Ecobiol 5PM. Además, se consideró el manejo que el productor realiza de manera cotidiana en sus fincas para la broca. Las aplicaciones se realizaron semanalmente a primeras horas del día, iniciando las primeras al momento de la formación de frutos, esto con la finalidad de tratar de establecer las esporas del hongo dentro del campo de cultivo.

Los recuentos de los insectos colonizados por el hongo se efectuaron cada semana hasta el final del ciclo agrícola, así como aquellos que se encontraban colonizados dentro de los frutos. En cuanto a la fertilización se empleó biofertilizante a dosis de 300 ml por bomba de 20 litros de capacidad, las aplicaciones del producto se efectuaron semanalmente en las parcelas manejadas orgánicamente.

Análisis estadístico

Las variables reproductivas, la absorción de nutrientes por parte de los frutos y la mortalidad de broca fue cuantificada y ordenadas en hojas electrónicas. Se utilizaron estadísticos descriptivos, frecuencias y porcentajes.

Resultados y discusión

Características de las unidades de producción.

Según Dauber (1995), el tamaño, forma y distribución de las áreas de producción son de mucha importancia. Dentro de la comunidad El Castillito, se encontraron diferentes tamaños, que reflejan la desigualdad en la distribución de la tierra entre las familias productoras. La mayoría cuenta con áreas menores o iguales a una hectárea (48%). Por otro lado, solo el 6% de las familias tienen áreas superiores a las 10 ha y hasta 25 ha (Gráfico 10.1). Calero *et al.*, (2014) menciona que en las comunidades rurales la mayor parte de las unidades productivas pertenecen a pequeños productores. Estos resultados son muy similares a los reportados por Montesinos (2008), Benavides *et al.*, (2010; 2011 y 2012).

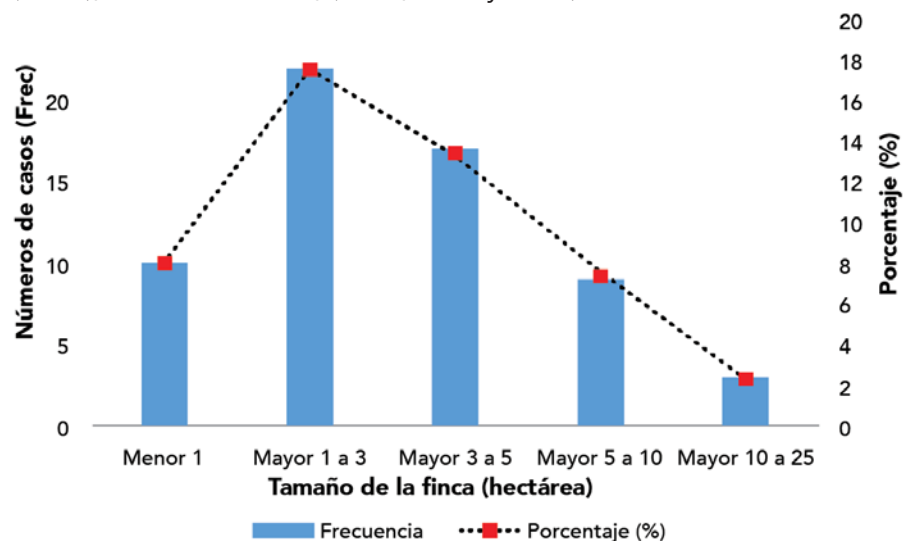


Gráfico 10.1. Distribución de las áreas productivas en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua

Al entrevistar a los productores de la comunidad, se encontró que el 62,5% (30 productores), tenían conocimiento de la existencia de la *Beauveria bassiana* como controlador de la broca del café. El restante grupo de productores no tenían conocimiento. Sin embargo

una de las limitantes en el uso de microorganismos controladores de la broca es el acceso a estos productos. En muchos casos, los productores tienen que viajar hasta 100 kilómetros hasta la ciudad más cercana para adquirir la formulación de *B. bassiana*, siendo el precio del transporte a veces muy elevado para los pequeños productores, que optan por aplicar insecticidas por su facilidad de adquisición (Gráfico 10.2.). Romero y Espinoza (2004), mencionan que en Nicaragua existe un importante número de productores que demandan este producto y que sin embargo no tienen acceso a él, debido a que son pocas las instituciones que lo están produciendo de manera semi-industrial.

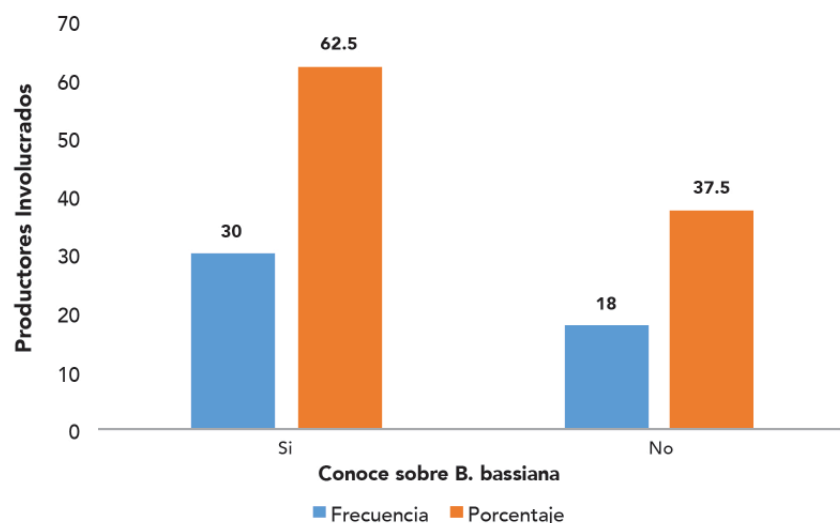


Gráfico 10.2. Conocimiento de los productores sobre la existencia de *B. bassiana* en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz. Nicaragua

Al final del periodo del estudio se consultó nuevamente a los productores involucrados en el proceso, si estaban satisfecho de la efectividad del hongo entomopatógeno sobre la broca del café. El

98% de los productores expresaron que seguirán empleando en sus parcelas productivas este controlador biológico ya que observaron gran efectividad en el control de adultos de la broca y otros insectos dañinos para el cultivo. Sin embargo el 8% no mostró interés en el uso de *B. bassiana* debido al periodo de tiempo de espera para ver el adulto de la broca muerta (Gráfico 10.3.). Según estudios realizados por Bustillo (2006), la broca puede causar pérdidas de hasta el 50% en la producción del café por lo que su control o manejo es de gran importancia. Este autor menciona que para que el hongo cause efecto sobre el insecto, requiere un periodo promedio de 8,2 días, por lo que muchos productores consideran que es un largo periodo de espera para ver los resultados y optan por emplear productos químicos.

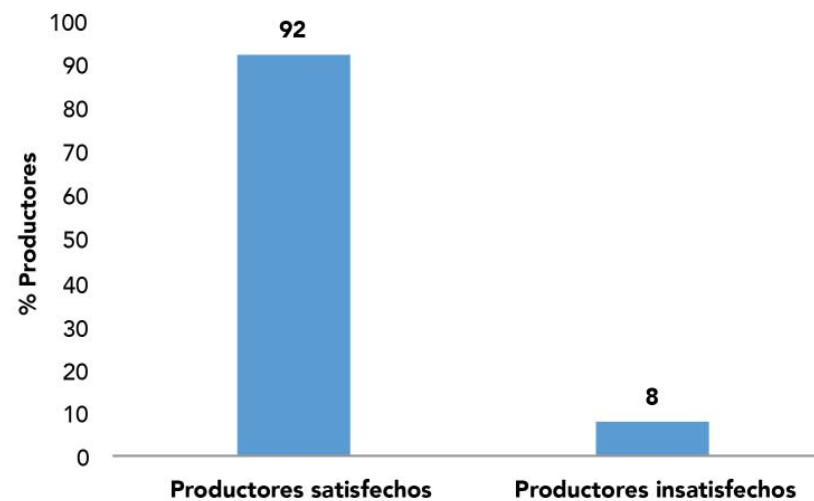


Gráfico 10.3. Satisfacción de los productores sobre la eficiencia de *B. bassiana* sobre la broca del café en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz. Nicaragua

Al comparar la eficiencia de los tipos de controles de la broca del

café en la comunidad se determinó que el control químico fue más eficiente que el uso de *B. bassiana*, sin embargo en el gráfico 10.4., se puede observar que la efectividad del hongo aumenta de un ciclo a otro, esto porque el hongo se establece dentro de las plantaciones, su uso constante garantiza mayor efectividad y bajos costos en el proceso productivo. A esto hay que sumarle la reducción de la contaminación ambiental. Tomando en cuenta que la comunidad de El Castillito se encuentra dentro de un área protegida, el empleo de hongos entomopatógenos es una opción muy viable para prevenir afectaciones en la fauna silvestre. En sus estudios, Bustillo (2006) menciona que los resultados de la efectividad del hongo son muy variables y están influenciados por condiciones climáticas y condiciones del cultivo. Los niveles de control pueden fluctuar entre valores muy bajos, del 20% hasta niveles del 75%.

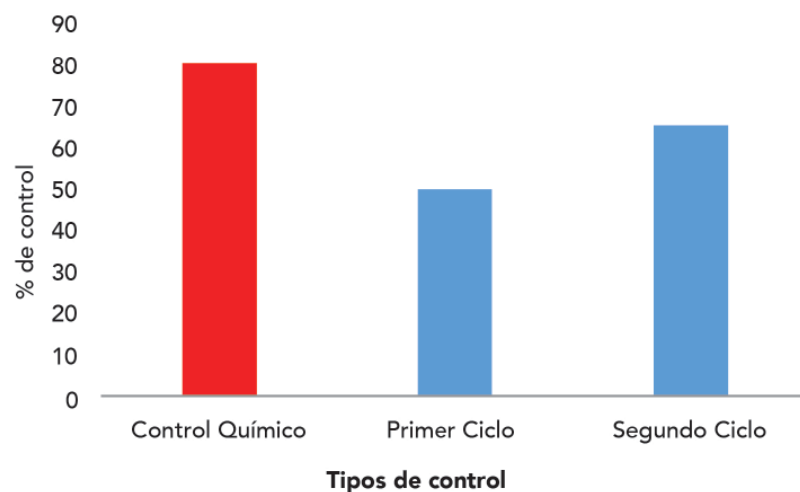


Gráfico 10.4. Comparación de tipos de controles implementados por los productores sobre la eficiencia de *B. bassiana* en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua

En cuanto a la fertilización orgánica se determinó que el peso del grano (g) en el periodo evaluado, fue muy similar empleando fertilización orgánica (OI) y fertilización química (CI), por lo cual es recomendable para las condiciones de la comunidad El castillito emplear fertilización orgánica a base de biofermentados líquidos, usando estiércol bovino para su elaboración. En cuanto al contenido de los nutrientes mayores, se realizó un análisis de laboratorio en donde se obtuvo un 7% de nitrógeno, 3% de potasio y 4% de fósforo, efectuando aplicaciones periódicas cada ocho días. En cuanto a la absorción de estos elementos por parte de los frutos se encontró un comportamiento muy similar en la fertilización orgánica y en la convencional, desde los 30 días hasta el momento de la cosecha. Russo & Botero (1996) citado por Duarte (2015), señala que al asociar fertilizantes orgánicos y árboles fijadores de nitrógeno, se incrementa el nivel de nitrógeno en el suelo debido a su capacidad de fijarlo de la atmósfera y por medio del aporte de materia orgánica. Además, sus raíces pueden absorber nutrientes de capas profundas del suelo y movilizarlos a la superficie, haciéndolos disponibles para el cultivo (Gráfico 10.5.).

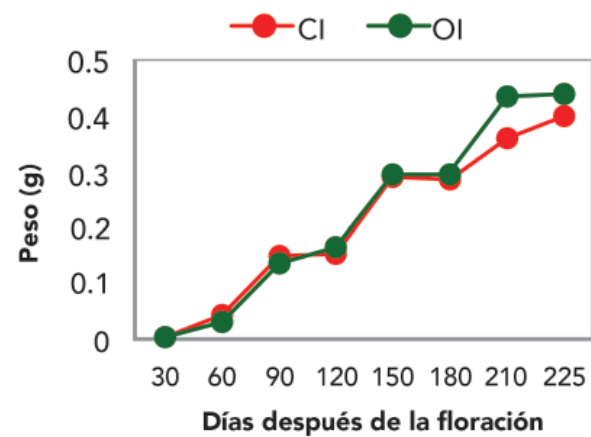
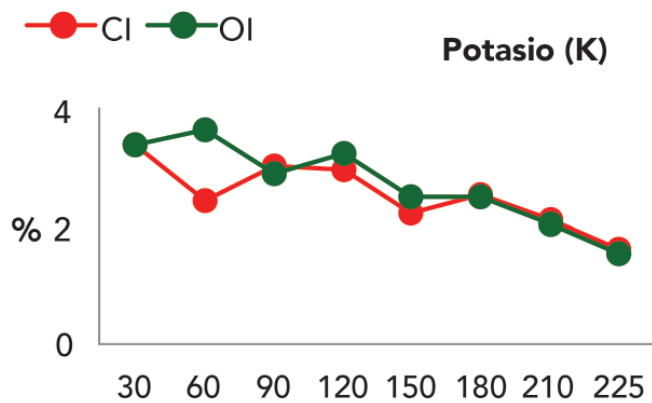
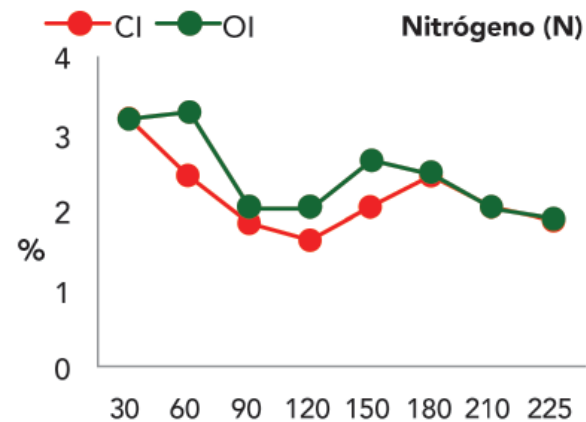
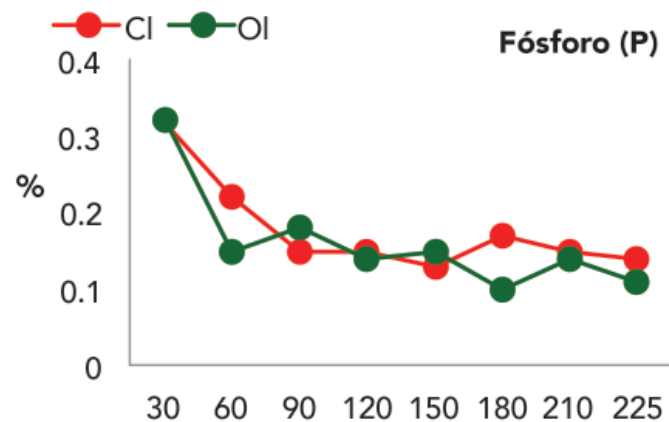


Gráfico 10.5. Absorción de nutrientes y peso del grano de café, bajo fertilización orgánica y convencional implementados por los productores en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz.

De igual manera se evaluaron otras variables productivas como es el número de nudos productivos, en donde se demostró que aquellas plantas fertilizadas de manera orgánica muestran un comportamiento similar a las fertilizadas de manera convencional. En cuanto a los nudos potenciales y al crecimiento de bandolas, fueron mejores en las plantas fertilizadas orgánicamente. En cuanto a algunos parámetros de calidad como son los frutos manchados y brocados, aquellas plantas fertilizadas convencionalmente superaron a las manejadas de manera orgánica (Figura 6). Estudios efectuados por Duarte (2015), mencionan que la fertilización es fundamental en las variables productivas, así mismo la humedad del suelo para la mejor asimilación de los fertilizantes. La planta absorbe con mayor rapidez las aplicaciones de biofertilizantes foliares.

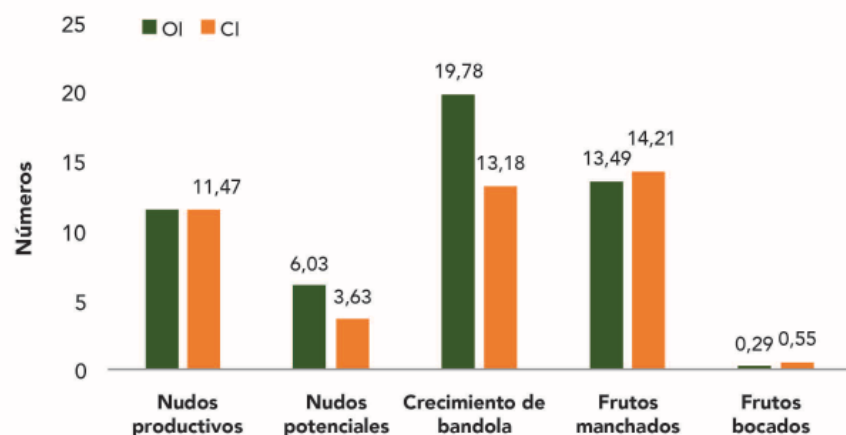


Gráfico 10.6. Comportamiento de variables reproductivas en café, bajo fertilización orgánica y convencional implementados por los productores en la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz.

Conclusión

En este escrito se relata de manera general la experiencia obtenida en la Comunidad de El Castillito, Las Sabanas, Madriz, en el periodo 2013-2014, empleando *Beauveria bassiana* como agente de control de la broca, plaga que reduce drásticamente los rendimientos. Se encontró que mucho de los productores, la mayoría con áreas inferiores a tres hectáreas, tienen conocimiento de la existencia de bioplaguicidas, sin embargo estos no están a su alcance. Los productores en su mayoría, mostraron interés en el uso de *B. bassiana* para controlar la broca del café, notándose que la eficiencia de este hongo aumenta a medida que se incrementa sus aplicaciones en el campo. En cuanto a la fertilización, la mayor absorción de nutrientes, tanto en las variables productivas y con en el grano, se encontró con la aplicación de biofertilizante, superando a las áreas de café con manejo convencional.

La mayoría de las unidades productivas estudiadas en las comunidades rurales presentaron una agricultura de subsistencia, que empleaban productos químicos en los procesos productivos. Lo que encarece sus costos de producción. Y aunque muchos productores conocen otras alternativas de control de las plagas que afectan sus cultivos, sin embargo estas no están al alcance de los productores. Se demostró que el uso de *B. bassiana* es una alternativa muy viable para controlar la broca del café. El uso constante de este producto incrementa su eficiencia en campo, lo que reduciría los costos de producción y la contaminación ambiental. Las mayores acumulaciones de nutrientes ocurrieron en el manejo orgánico empleando biofertilizantes, y además los mayores rendimientos de grano obedecen a este manejo.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de las Sabanas. 2007. Tepec Xomolth La Patasta. Dirección de Catastro. En Power Point.
- Arcilla, A., Bustillo, A.E., Chávez, B. 2006. Estudio de la cepa Bb9205 de *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. Revista Cenicafé, en prensa. 20 p.
- Benavides G.A., Cisne, J.D., Querol L.D. 2010. Informe preliminar DPR: Rescate, conservación y manejo sostenible del teocintle de Nicaragua (*Zea nicaraguensis* Iltis & Benz) en la Reserva de recursos genéticos de Apacunca (RRGAA). Managua, NI. p. 96.
- Benavides G.A. 2011. Diagnostico participativo-agro-socio económico en comunidades rurales. 121 p.
- Bustillo, A.E. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia. Revista colombiana de entomología 32(2): pp. 101-116 (2006).
- Calero, Ch.E. 2015. Características básicas de Unidades Familiares Productivas en las comunidades de Nueva Esperanza y Buena Vista, en la Reserva Natural Tepec-Xomolth La Patasta, Las Sabanas, Madriz. Tesis Ing. Agrónomo. Managua NI. Universidad Nacional Agraria. 100 p.
- CENAGRO (Censo Nacional Agropecuario). 2002. IV Censo Nacional Agropecuario (en línea). Managua, NI. Consultado el 04 marzo, 2016. Disponible en <http://www.inec.com.ni>.
- Cisne C., Duarte C., Morán C., J. C., 2012. Análisis numérico de variables climáticas en el cultivo orgánico de fresa (*Fragaria* spp.), en El Castillito, Las Sabanas, Madriz. Revista LA CALERA. Universidad Nacional Agraria. No. 19-Diciembre-2012. p. 75-80. Consultado el 3 Mar. 2013. (Disponible en <http://www.lamjol.info/index.php/CALERA/article/view/1180>).
- Dauber, E. 1995. Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Proyecto BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.
- Duarte, H.A. 2015. Evaluación de indicadores agroecológicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) variedad Catrenic, bajo riego complementario por goteo a pleno sol y micro aspersión bajo sombra, San Marcos, Carazo, Nicaragua, 2013-2014. Universidad Nacional Agraria. Tesis, MSc. Agroecología. Managua, NI. 103 p.
- Montesinos, C. 2008. Diagnóstico e identificación preliminar de especies vegetales y animales silvestres de la comunidad El Castillito, Las Sabanas, Madriz. Universidad Nacional Agraria. Tesis, Ing. Agr. Managua, Nicaragua. 120 p
- Querol, L.D., Benavides A.N., Cisne J.D., Morán J.C., Nieto F.N., Schauppenlener R.T., Yepes F. 2014. Cambiando Mentes y Estructuras: Manual del Curso Diagnóstico Participativo Integral Rural. 1ª. Edición. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 200 p.
- Romero, O. y Espinoza, J. 2004. Estudio de factibilidad para el establecimiento de un taller de multiplicación artesanal del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* Bals. (Vuill) para el manejo de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en las comunidades de San Buenaventura, municipio de Boaco. Tesis Ingeniero en sistemas de protección agrícola y forestal. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 170 p.

11. Importancia de la Biodiversidad en los Agroecosistemas

Wilmer Barrera¹⁶

La biodiversidad es esencial para la seguridad alimentaria y la nutrición. Miles de especies interconectadas constituyen una red vital de biodiversidad en los ecosistemas de los que depende la producción mundial de alimentos. Con la erosión de la biodiversidad, la humanidad pierde el potencial para adaptar los ecosistemas a nuevos desafíos, como el crecimiento demográfico y el cambio climático. Alcanzar la seguridad alimentaria para todos está intrínsecamente vinculado al mantenimiento de la biodiversidad (FAO, 2015).

Entre las diferencias entre agroecosistemas y ecosistemas naturales, sobresalen la diversidad de especies y la diversidad genética, que son más altas en los ecosistemas naturales.

- Por su parte, el modelo agrícola convencional, se caracteriza por: el control químico de plagas y arvenses; uso de fertilizantes sintéticos que pueden provocar eutroficación y lixiviación de nutrientes; la degradación de suelos; uso de semillas y variedades

con alta demanda de nutrientes; y la dependencia de insumos externos; provocar contaminación del ambiente y afectaciones a la salud de los trabajadores; cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, tales como compactación, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), desmineralización, entre otras. El monocultivo como modelo agrícola convencional aumenta la vulnerabilidad ante brotes de plagas, y presenta baja biodiversidad biológica. Al respecto, se mencionó, entre otros ejemplos a nivel internacional, que el 97% del área cultivada con café en El Salvador en 2012 estaba ocupada por las variedades Bourbon y Pacas (PROCAFE, 2013).

Por el contrario, las áreas con manejo agroecológico son más biodiversas que las manejadas convencionalmente, lo cual genera una buena cantidad de servicios a los agroecosistemas: polinización y dispersión, regulación de plagas, producción de biomasa y eficiencia

16. Asesor Técnico Junior en Caficultura y Diversificación Agrícola en el NCBA CLUSA-USDA. Proyecto de Apoyo a la Rehabilitación de la Caficultura y Diversificación Agrícola, El Salvador

productiva. Asimismo, se menciona que produce estabilidad y sostenibilidad, en términos de un mayor reciclaje de nutrientes, control del microclima local, regulación de procesos hidrológicos y de la abundancia de organismos indeseables, así como la detoxificación de compuestos químicos nocivos.

Se debe tomar en cuenta que el grado de biodiversidad en los agroecosistemas depende de cuatro características: (i) la diversidad de la vegetación dentro y alrededor del agroecosistema; (ii) la permanencia de los varios cultivos dentro del agroecosistema; (iii) la intensidad del manejo; y (iv) el grado de aislamiento del agroecosistema de la vegetación natural.

Por otra parte, se pueden implementar estrategias para aumentar la biodiversidad en agroecosistemas, como por ejemplo, la rotación de cultivos (con Gandul -*Cajanus cajan*-, y con Canavalia -*Canavalia ensiformis*); policultivos (maíz-arroz-yuca); mezcla de variedades; sistemas agroforestales; cultivos de cobertura, como leguminosas; áreas de vegetación natural circundante a áreas de cultivo; obras de conservación; sembrar diferentes cultivos en franjas adyacentes; labranza reducida o labranza mínima; y cobertura vegetal para preservar el suelo y la humedad.

También se puede actuar sobre otros componentes de la biodiversidad, funciones y técnicas para incrementarla, por ejemplo: los polinizadores son componentes de la biodiversidad, cuya función es la polinización, y se pueden incrementar con la implementación de policultivos. Algunas prácticas agroecológicas que actúen sobre los parámetros agroproductivos, tales como fertilidad del suelo, control de erosión, control de plagas, enfermedades y malezas, incremento en rendimientos, mejora del microclima, conservación de la humedad, y estimulación de la biología del suelo, pueden aumentar la biodiversidad en el agroecosistema. Entre los sistemas mencionados están: *mulch* muerto, rotaciones y cultivos asociados.

En el caso del café, los beneficios de la biodiversidad más sobresalientes son la protección del suelo ante la erosión causada por la lluvia y el viento, la retención de la humedad del suelo y que contribuye al reciclaje de nutrientes e incorpora materia orgánica.

De acuerdo a estadísticas de PROCAFE (2013), las plantaciones de café en El Salvador: albergan 209 especies de árboles nativos y 21 exóticas; 188 especies de aves, 101 residentes y 37 migratorias; 31 especies de pequeños mamíferos; 26 especies de reptiles y 8 especies de anfibios. Muchas de estas especies se encuentran en peligro de extinción. Asimismo, destacan otros beneficios como la captura de dióxido de carbono -los cafetales mantienen una reserva de 32.2 millones de toneladas de carbono (PROCAFE 2013)-, la recarga de los mantos acuíferos, ser fuente de leña en zonas rurales - se estima que el cafetal provee el 42% del total de leña utilizada anualmente de las poblaciones rurales (PROCAFE 2013)-, y además en las fincas, generalmente se cultivan otros productos como frutas, vegetales, flores, y árboles maderables.

Finalmente, se pueden resumir las diferencias entre el enfoque de agricultura tradicional o convencional y el enfoque agroecológico, entre las que se pueden mencionar, entre otros: la agricultura tradicional maximiza la renta y la ganancia, mientras que la agroecológica optimiza la productividad del sistema; en la tradicional o convencional predomina el enfoque reduccionista frente a un enfoque sistémico y holístico en la agroecológica; en la convencional, predomina la uniformidad del sistema y la segunda promueve la biodiversidad; la convencional se caracteriza por la dependencia de insumos externos, mientras que el manejo agroecológico estimula aprovechamiento de recursos locales.

Es por tanto una oportunidad reforzar la valoración de la biodiversidad como forma de aumentar la estabilidad y sostenibilidad productiva de nuestras tierras.



©FAO/Topvfx



ISBN 978-92-5-309889-7



9 789253 098897

17697ES/1/08.17

©FAO/Topvfx