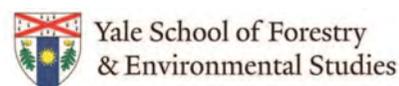


SISTEMAS AGROFORESTALES

FUNCIONES PRODUCTIVAS, SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES

Florencia Montagnini
Eduardo Somarriba
Enrique Murgueitio
Hugo Fassola
Beatriz Eibl



Facultad de Ciencias Forestales
Eldorado - Misiones - Argentina



Serie técnica
Informe técnico No. 402

SISTEMAS AGROFORESTALES

FUNCIONES PRODUCTIVAS, SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES

Florencia Montagnini
Eduardo Somarriba
Enrique Murgueitio
Hugo Fassola
Beatriz Eibl

Colombia, Costa Rica - 2015

ISBN: 978-958-9386-74-3

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

Impreso en Colombia / Printed in Colombia

© 2015 Fundación CIPAV, Cali, Colombia y Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

ISBN: 978-958-9386-74-3

338.14

S623 Sistemas agroforestales : funciones productivas, socioeconómicas y ambientales / Montagnini, Florencia... [et al.]. – 1º ed. – Cali, CO : CIPAV ; Turrialba, CR: CATIE, 2015.
454 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no. 402)

ISBN 978-958-9386-74-3

1. Agroforestería – Productividad
 2. Agroforestería – Servicios ecosistémicos
 3. Agroforestería – Restauración Ecológica
 4. Sistemas Silvopastoriles
 5. Sistemas Silvopastoriles Intensivos
- I. Montagnini, Florencia, II. Somarriba, Eduardo
III. Murgueito Enrique IV. Fassola, Hugo V. Eibl, Beatriz VI. Título VII. Serie.

Título

Sistemas agroforestales.
Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales

Editores

Florencia Montagnini, Eduardo Somarriba,
Enrique Murgueitio, Hugo Fassola, Beatriz Eibl

Diseño Gráfico

José Antonio Riascos de la Peña

Corrección de Estilo

Jaime Dávila, Javier Buitrago

Impresión

Feriva S. A. Cali - Colombia

Para citar este libro

Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. 2015. Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454p.

“Con el apoyo del patrimonio autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas. (Contrato 0823-2013 COLCIENCIAS-CIPAV)”.



COLCIENCIAS
Ciencia, Tecnología e Innovación



Yale School of Forestry
& Environmental Studies



Facultad de Ciencias Forestales
Eldorado - Misiones - Argentina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

Capítulo 1

EFFECTOS ECOLÓGICOS Y PRODUCTIVOS DEL ASOCIO DE ÁRBOLES DE SOMBRA CON CAFÉ EN SISTEMAS AGROFORESTALES

Bruno Rapidel^{1,2,*}, Clémentine Allinne^{1,2}, Carlos Cerdán³, Louise Meylan^{1,2},

Elias de M. Virginio Filho², Jacques Avelino^{4,5}

¹CIRAD, UMR SYSTEM, Montpellier, France,

*Correo electrónico: bruno.rapidel@cirad.fr, Tel.: +5062558 25 99

²CATIE, Turrialba, Costa Rica

³Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México

⁴CIRAD, UR Bioagresseurs, Montpellier, France

⁵IICA-Promecafé, Coronado, Costa Rica

RESUMEN

En este capítulo se hace una reseña de los conocimientos sobre las ventajas y desventajas del asocio entre el cafeto (*Coffea arabica*) y los árboles. La conveniencia de cultivar una especie en asocio con árboles se puede considerar desde dos puntos de vista: un punto de vista ecológico, donde se estudia la compatibilidad entre las especies, y un punto de vista económico. Este capítulo considera estos dos aspectos: la primera parte es una revisión de los conocimientos científicos sobre los efectos de este asocio sobre la productividad del café y su calidad, y sobre los grandes determinantes de esta productividad: ciclos de nutrientes y del agua, y control de plagas y enfermedades.

Siendo *C. arabica* una especie originaria del sotobosque, tiene capacidades fotosintéticas adaptadas a ambientes sombreados. Sin embargo, plantaciones a pleno sol permiten productividades más elevadas si las condiciones de temperatura y de manejo son adecuadas. Este aumento de productividad se debe más a efectos sobre la fenología del cafeto (mayor intensidad de floración en pleno sol) que a una fotosíntesis más intensa. Los árboles de sombra protegen al cafeto contra extremos climáticos, pero también incrementan el consumo de agua de la plantación. La sombra permite generalmente mejorar la calidad del café, aunque este efecto depende del lugar y es objeto de debate. Mientras que los árboles de sombra generalmente permiten mejorar la fertilidad del suelo de las plantaciones, también tienen efectos contradictorios sobre plagas, enfermedades y sus agentes de control biológico.

La segunda parte presenta las evidencias de los logros y dificultades de este asocio en la realidad de la producción cafetalera en América Central y del Sur. Las plantaciones de café bajo sombra de árboles de servicio son las más frecuentes, donde estos árboles tienen características que permiten a los productores manejarlos en función de las necesidades del cultivo. Estos árboles generalmente dan una mayor resiliencia a las plantaciones, frente a perturbaciones climáticas o económicas. En cambio, otros sistemas usan árboles que tienen su propia finalidad de producción, sea frutas o madera. En estos casos es frecuente que se deba hacer compromisos entre los diferentes objetivos, que dependen de las situaciones de los productores y de las parcelas. Estos sistemas agroforestales son complejos, y su manejo requiere conocimiento detallado. Por lo tanto, es preciso profundizar la investigación en algunos aspectos claves, así como también aprovechar el conocimiento local de los productores.



6

Granos de café. Foto: F. Montagnini.



INTRODUCCIÓN

El café, uno de los productos agrícolas más exportados en el mundo, es producido principalmente en sistemas agroforestales. Históricamente se ha debatido la conveniencia de cultivar el café a pleno sol o en asocio con árboles, y las diferentes trayectorias de la caficultura en los países productores, variables en el tiempo, lo ejemplifican (Samper 1999). Para evaluar la pertinencia de producir dos especies en asocio ha sido desarrollado, ya hace años, el Land Equivalent Ratio (LER) – razón de equivalencia de área – un indicador que compara la productividad de cada una de las especies en asocio, en relación con la productividad de dos parcelas con cada una de las especies por separado (Mead y Willey 1980). Un LER superior a uno indica que es pertinente - en términos de uso de la tierra - producir las especies en asocio.

A pesar de la utilidad de estas herramientas clásicas, particularmente cuando se trata de establecer experimentos, éstas no proporcionan respuestas a todas las preguntas que los agrónomos se hacen sobre los sistemas agroforestales con café. Otros elementos, relacionados con sistemas de producción y cadenas productivas, pueden ser más importantes que esta lógica de maximizar la productividad por unidad de superficie. Por ejemplo, la preferencia de los productores por cultivos y sus combinaciones, la adecuación de los calendarios de trabajo para manejar cada especie, o la existencia de estrategias de la venta de los productos pueden ser elementos más importantes a considerar que tan sólo la conveniencia biológica del asocio.

Consideraremos estos dos tipos de lógicas en este capítulo. La primera parte presenta el estado actual del conocimiento sobre la conveniencia biológica de cultivar el cafeto en sistemas agroforestales, revisando los diferentes factores de la productividad y cómo la presencia de especies arbóreas de sombra puede afectarlos. La segunda parte se interesa más en la práctica productiva en América Latina.

1. LA CONVENIENCIA BIOLÓGICA DEL CULTIVO DEL CAFETO A LA SOMBRA DE ÁRBOLES

Coffea arabica es una especie originaria del sotobosque de las mesetas de Etiopía y del sur de Sudán, por lo tanto está adaptada a ambientes frescos, sombreados y secos. La selección genética y las nuevas tecnologías de producción, en particular la exposición al sol, combinada con altas densidades de siembra - que permiten el auto-sombreamiento de las hojas (Cannell 1985) –, y el desarrollo de fertilizantes químicos y de programas de protección y de lucha contra plagas y enfermedades, han permitido elevar las productividades de las plantaciones de café muy por encima de lo que se obtiene en condiciones naturales. Tomando esto en cuenta, la conveniencia del asocio entre el café y los árboles de sombra se puede cuestionar cuando el punto central es aumentar la productividad del café. En esta primera parte se revisan los distintos factores de la productividad en café que se ven afectados por el asocio con árboles de sombra.

1.1 Sombra y fotosíntesis

Desde hace décadas se sabe que el aparato fotosintético del cafeto está adaptado a condiciones sombreadas: hojas que reciben sol directo muestran una tasa de fotosíntesis menor que hojas en la sombra (Nutman 1937). En particular, las hojas de café están sujetas a foto-inhibición y a foto-respiración en condiciones de alta radiación, que no permiten fotosíntesis e incluso pueden provocar daños permanentes en el aparato fotosintético (Chaves et al. 2008). En consecuencia, la tasa de fotosíntesis de las hojas de café es relativamente baja (máximo alrededor de $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La principal limitación a la fotosíntesis parece estar relacionada con una baja conductancia estomática de las hojas (DaMatta 2004). Las radiaciones saturantes varían entre 300 y 700 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ según las condiciones climáticas en particular. La resultante de estas limitaciones a la fotosíntesis es que se ha encontrado, casi siempre, que la fotosíntesis del cafeto no se reduce en condiciones de sombra inferiores a 55% (Franck y Vaast 2009).

Estos elementos son muy generales, pero pueden variar mucho según las condiciones climáticas y de manejo del cultivo. Por ejemplo, la fotosíntesis del café es muy sensible a temperaturas altas, y la sombra, que permite reducir los extremos de temperatura en el dosel del café, puede influir más sobre la fotosíntesis en ambientes cálidos que en ambientes frescos. La fertilización nitrogenada incrementa la tasa de fotosíntesis, y por lo tanto también aumenta la capacidad del cultivo de aprovechar altas intensidades de radiación solar. En consecuencia, en algunos casos, la sombra podrá tener efectos menos positivos en plantaciones con alta fertilización de N.

1.2 Sombra y balance hídrico del cafeto

El efecto de los árboles de sombra sobre el balance hídrico de las plantaciones de café es complejo, pero relativamente bien documentado. Se ha comprobado que la transpiración total de la plantación es mayor en presencia de árboles de sombra: los árboles transpiran más agua de lo que la sombra permite ahorrar a los cafetos (van Kanten y Vaast 2006). Sin embargo, puede haber una diferencia entre las profundidades de extracción del agua del suelo entre los cafetos y los

árboles de sombra, lo que reduce la competencia por el agua en el SAF (Cannavo et al. 2011). La sombra claramente reduce la evaporación del suelo (Lin 2010), debido a la interceptación de luz solar, y a la presencia de un mantillo que protege el suelo, pero la importancia de la evaporación comparada con la transpiración no ha sido correctamente evaluada aún. También se sabe que el mantillo producido por los árboles permite incrementar la infiltración del agua de lluvia y reducir su escorrentía (Gómez-Delgado et al. 2011, Meylan 2012, Verbist et al. 2010). Tomando todo esto en cuenta, puede decirse que el efecto resultante de la sombra sobre el balance hídrico depende muy probablemente de las condiciones locales y temporales. Donde la escorrentía es un componente importante del balance hídrico de una plantación, el incremento de infiltración relacionado con la presencia de árboles de sombra puede tener un efecto positivo sobre el balance global. Donde la escorrentía es un factor secundario, el incremento del consumo de agua debido a la presencia de los árboles de sombra puede desmejorar el balance hídrico de la plantación en caso de escasez de agua, sobre todo si no hay una clara separación entre las profundidades del enraizamiento entre cafetos y árboles de sombra.

1.3 Sombra y nutrición mineral del café

La presencia de especies fijadoras de nitrógeno atmosférico en el sistema agroforestal permite mejorar el balance en este elemento. La cuantificación de este aporte ha sido debatida por años (Beer et al. 1998). Las últimas estimaciones, que se basan en el rastreo de nitrógeno usando ^{15}N (en vez de la reducción del acetileno, método tradicionalmente utilizado) casi duplican estimaciones anteriores, con cantidades que rondan los 100 kg ha^{-1} , en condiciones normales de manejo de especies fijadoras como *Erythrina poeppigiana* o *Inga edulis* (Leblanc et al. 2007), pero estas estimaciones son muy variables ($56\text{-}555 \text{ kg ha}^{-1}$) según las fuentes de información, las especies de árboles y su manejo (Nygren et al. 2012). La fijación de N ha sido evidenciada incluso en plantaciones de café que reciben altas fertilizaciones nitrogenadas (Meylan 2012). En cuanto a los otros elementos, o en el caso de N para especies de sombra no fijadoras, el balance resulta de dos procesos contradictorios: i) la competencia por los elementos entre las especies de sombra, que los extraen, y el café; ii) el reciclaje de los elementos por medio de la producción de mantillo y residuos por los árboles, cuando la presencia de éstos permite aumentar la eficiencia global de uso de estos elementos. El balance depende de muchos factores, tales como las características de las especies de sombra y la sincronía entre la descomposición de su mantillo con la absorción del café, el clima, y particularmente el volumen de agua de lluvia que drena fuera del alcance de las raíces del café, o de los elementos considerados. Por ejemplo, se estima que el reciclaje del fósforo por los árboles de sombra es bajo (Palm 1995), por lo que con referencia a este elemento podrían haber fenómenos de competencia más que de facilitación entre especies.

Los distintos efectos de los árboles de sombra sobre la fotosíntesis y los ciclos del agua y de los nutrientes interactúan entre sí, pero los efectos resultantes dependen altamente de las condiciones locales y del manejo del cultivo y de los árboles. Un esquema resumido de estos efectos se presenta en la Figura 1.

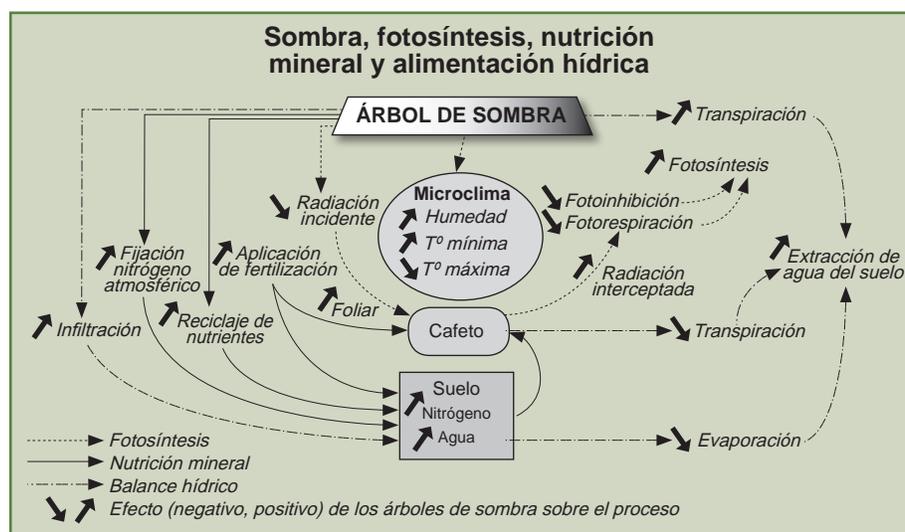


Figura 1. Efectos de los árboles de sombra sobre la fotosíntesis, el balance hídrico y la nutrición mineral del café.

1.4 Sombra y rendimiento

Como en muchos cultivos, la productividad de una plantación de café no depende únicamente de la tasa de fotosíntesis, sino también de los coeficientes de partición: los productos de la fotosíntesis se reparten hacia el crecimiento de hojas y de raíces, el mantenimiento de los tejidos existentes, y la producción de granos. Los coeficientes de partición entre estos componentes dependen de la fenología del cultivo; por ejemplo, no es igual en la época de llenado del grano que en la época de floración. Un factor esencial que determina estos coeficientes de partición es el número de flores (Cannell 1971). Éste depende en primera instancia de dos elementos:

- El número de nudos productivos, el cual a su vez depende del crecimiento de las ramas plagiotrópicas (bandolas) durante el año anterior a la floración, y por lo tanto de la tasa de fotosíntesis y de la repartición de los fotosintetatos durante el año anterior.
- El número de frutos por nudo productivo, que depende de la intensidad de la floración.

La sombra afecta de diversas maneras ambos elementos. El número de nudos fructíferos depende de la fotosíntesis, y de cómo, durante el año anterior, se repartieron estos productos de la fotosíntesis. Cuanto mayor sea la producción de frutos el año anterior, mayor es la proporción de esta fotosíntesis que fue capturada por la producción, y menor la parte que se dedica al establecimiento de nuevos nudos productivos para el año siguiente. Aquí está el origen de la bienalidad de la producción en café (y de muchos otros cultivos perennes). Dependiendo de las condiciones climáticas, la fotosíntesis de cultivos sombreados puede ser comparable (Franck y Vaast 2009) o ligeramente inferior a la de los cultivos al pleno sol (Campanha et al. 2005, López-Bravo et al. 2012), lo que conduce a un número de nudos inferior en condiciones sombreadas. El número de granos por nudo fructífero es generalmente menor en la sombra. Por lo tanto, la sombra reduce la amplitud de la bienalidad en el café (Haggar et al. 2011).

La iniciación de yemas florales, que determina el número de granos por nudo fructífero, es un proceso muy sensible a la radiación. Se ha verificado, en condiciones óptimas de producción, que hay mayor inducción floral en pleno sol que a la sombra (Cannell 1985, Meylan 2012). Los agricultores usualmente podan los árboles de sombra en esta época para

limitar este efecto, pero no todas las especies de sombra utilizadas pueden ser fácilmente podadas (por ejemplo, los árboles maderables, en especial cuando superan la fase inicial de crecimiento). Otras especies de sombra pierden sus hojas en el momento de la floración del cafeto.

1.5 Sombra y calidad del café

La calidad de los productos agrícolas tiene cada vez mayor reconocimiento para su comercialización. Para el café, un producto de consumo de lujo, esto es particularmente importante. La calidad organoléptica del café depende de múltiples factores, entre los que se destacan las condiciones de la cosecha y del beneficiado. Factores relacionados con las condiciones de producción también han sido estudiados, por ejemplo el efecto de la temperatura determinado por la altitud.

El efecto de la sombra sobre la calidad, aunque ha sido utilizado por motivos de comercialización, ha recibido mucho menos atención. Los escasos resultados publicados sobre este tema son contradictorios. Pareciera que la calidad es el resultado del efecto de interacciones entre el nivel de sombra y ciertas características del ambiente, especialmente la altitud¹. Donde las condiciones climáticas son marginales para la producción de café, particularmente por las altas temperaturas, se considera que la sombra tiene efectos positivos sobre la calidad física del grano (Muschler 2001) y la calidad organoléptica de la taza de café. Las contradicciones en la literatura aparecen en altitudes elevadas. El efecto de la sombra sobre la calidad fue descrito como positivo sobre casi todos los atributos de la calidad en Costa Rica a 1180 m de altitud (Vaast et al. 2006); mientras que en Guatemala, a 1100 y 1400 m, los efectos positivos se limitaron a algunos atributos químicos (acidez, sacarosa), aunque con casi ninguna diferencia significativa en cuanto a atributos organolépticos (menos amargo únicamente; Guyot et al. 1996). Sin embargo, otro estudio en Colombia entre 1270 y 1730 m de altitud reportó más bien efectos negativos de la sombra en casi todos los atributos organolépticos (Bosselmann et al. 2009). En otro estudio en Colombia, en altitudes todavía mayores, entre 1630 y 1990 m, se encontró, por el contrario, una tendencia a tener mejores atributos organolépticos bajo sombra, aunque sólo el atributo del cuerpo dio diferencias significativas (Läderach et al. 2011). Pero, en el mismo estudio, se reportó un efecto

contrario en dos localidades de México a 890 y 1490 m de altura, con sombra más densa. En altitudes muy altas de Costa Rica (entre 1550 y 1850 m), la sombra no pareció tener efectos marcados sobre la calidad; una leve reducción de la acidez fue reportada, sin embargo, bajo sombra (Avelino et al. 2007a). Estos resultados, en apariencia contradictorios, señalan mecanismos complejos e interacciones múltiples de los niveles de sombra con otros factores que requieren de estudios más profundos.

La Figura 2 resume los efectos de los árboles de sombra sobre cantidad y calidad de producción de café.

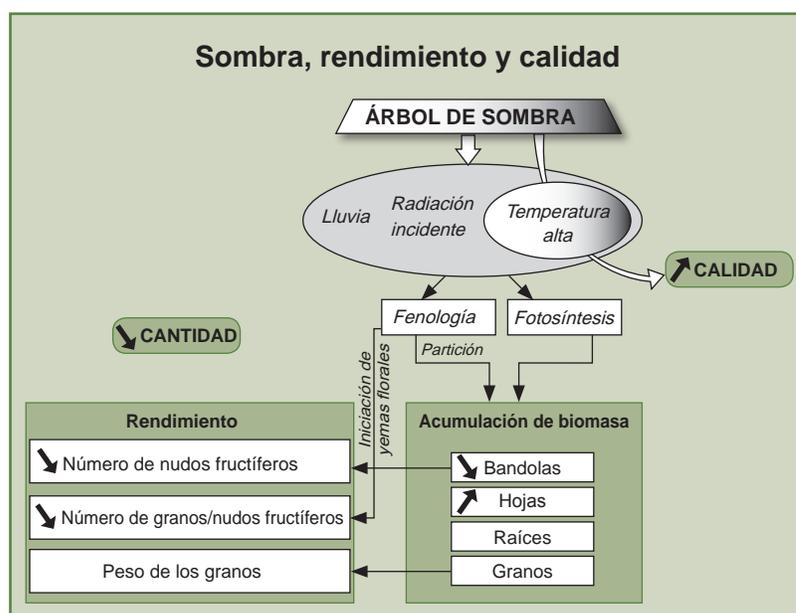


Figura 2. Efectos de los árboles de sombra sobre productividad y calidad de café.

¹O, más precisamente, la temperatura, que está determinada en gran parte por la altitud, aunque este efecto depende de la latitud, por lo que estudios a altitudes similares pero latitudes distintas no se pueden comparar directamente.

1.6 Sombra, plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades juegan un papel fundamental sobre la productividad y la rentabilidad de las plantaciones de café. Los efectos de los árboles de sombra sobre plagas y enfermedades dependen en primera instancia de los requerimientos del insecto o del patógeno considerado, así como también de los agentes de control de estas plagas y enfermedades. Varios mecanismos han sido mencionados (López-Bravo et al. 2012, Mouen Bedimo et al. 2012):

- Aumento de los nichos: al aumentar las especies arbóreas y al hacerse más compleja la estructura del dosel del SAF, se proveen nichos para que coexista un mayor número de especies, incluyendo insectos y aves, que pueden ejercer un biocontrol sobre algunas plagas del cafeto, por ejemplo la broca (*Hypothenemus hampei*, coleóptero que pone sus huevos en los granos verdes de café; Armbrrecht y Gallego 2007, Kellermann et al. 2008). Inversamente, los árboles de sombra también pueden ser huéspedes alternos para plagas y enfermedades, como se ha mostrado para el agente del ojo de gallo (*Mycena citricolor*, hongo que produce lesiones en las hojas y la epidermis de los granos del cafeto; Sequeira 1958), y el cual también puede atacar al árbol de sombra *Inga edulis*. Incluso para la broca, se ha comprobado que el coleóptero puede refugiarse y reproducirse en otras frutas que no sean las cerezas del café (Damon 2000).
- Alteración del microclima: al modificar los árboles las condiciones microclimáticas, se puede ayudar a regular ciertas plagas y enfermedades, pero también favorecer a otras. Por ejemplo, al reducir la energía de las gotas de lluvia y por lo tanto el “splashing” (dispersión por salpique), los árboles de sombra ayudan a disminuir la propagación del Coffee Berry Disease (*Colletotrichum kahawae*, un hongo que pudre los granos de café y, por ahora, no está presente en América Latina; Mouen Bedimo et al. 2008, 2012). La reducción de la velocidad del viento en SAF también permite proteger las hojas del cafeto contra daños mecánicos, al reducir la entrada de patógenos oportunistas. La sombra, a través de sus efectos regulatorios de la carga fructífera, ayuda a eliminar casi completamente la antracnosis (muerte descendente de las ramas), la cual está asociada a hongos del género *Colletotrichum*. Agentes de biocontrol, como *Beauveria bassiana* para la broca o *Lecanicillium lecanii* para el hongo responsable de la roya (*Hemileia vastatrix*, que produce lesiones en las hojas del cafeto) pueden encontrar en SAF condiciones adecuadas para su sobrevivencia y proliferación (Staver et al. 2001). De nuevo, inversamente, estas condiciones microclimáticas más favorables también pueden beneficiar a otros patógenos. Se sabe que la sombra incrementa los ataques de ojo de gallo (Avelino et al. 2007b) y de mal de hilachas (*Ceratobasidium noxium*, hongo que invade y luego seca las hojas de cafeto, que quedan colgando; Schroth et al. 2000). Se supone que la sombra también favorece la broca, probablemente por mayor humedad relativa del aire, la cual aumenta la longevidad y la fecundidad del insecto (Baker et al. 1994).
- Efectos contradictorios según la localidad: finalmente, muchos de los efectos de la sombra sobre las plagas y enfermedades involucran varios procesos contradictorios. El balance de estos efectos puede variar según las condiciones locales. Por ejemplo, en relación con el efecto de la sombra sobre la roya del café, se sabe que esta enfermedad afecta mucho más a las plantas con alta productividad (Avelino et al. 2006), con lo que se verían más afectadas las plantas a pleno sol. Al mismo tiempo, se sabe que la disminución de la radiación solar, de los extremos de temperatura, y el aumento del

tiempo de mojadura de los órganos, tienden a favorecer el desarrollo de la roya. Estas dos situaciones permiten explicar los resultados contradictorios sobre sombra y roya encontrados en la literatura (López-Bravo et al. 2012). Sin embargo, durante la severa epidemia de roya del 2012 que fue un año de baja pluviometría, el comportamiento de las plantaciones frente a esta enfermedad pareció ser mejor bajo sombra (Cressey 2013).

Los efectos de los árboles sobre plagas y enfermedades son complejos y algunas veces contradictorios; dependen de los organismos considerados. Hemos resumido los diferentes mecanismos involucrados en la Figura 3, elaborada con base en el tetraedro propuesto por Zadoks y Schein (1979) que organiza las relaciones entre los cultivos, su manejo, el clima y las plagas o enfermedades.

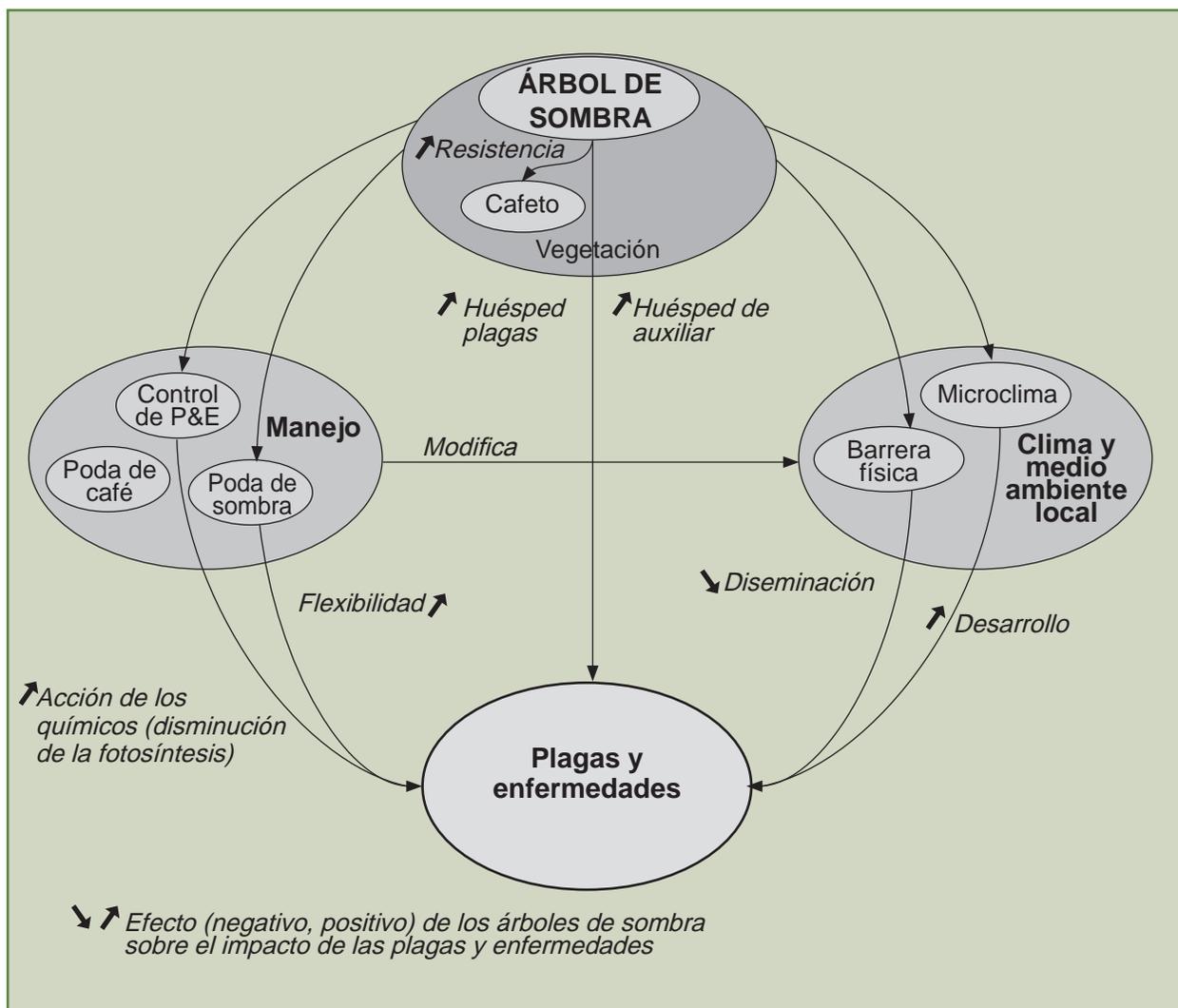


Figura 3. Efectos de los árboles de sombra sobre las plagas y enfermedades del café.

2. LA PRÁCTICA PRODUCTIVA

La conveniencia biológica del asocio entre cafetos y árboles no es más que un aspecto de la realidad: las plantaciones de café son ecosistemas manejados por los humanos, en función de objetivos de producción, y en condiciones determinadas de acceso a los factores de producción como tierra, capital financiero, mano de obra y conocimiento. El propósito de esta segunda parte es presentar estos otros elementos que se toman en cuenta al establecer o manejar un sistema agroforestal con café.

En América Latina, se puede considerar que los SAF con café son de dos grandes tipos: los que se basan principalmente en el asocio del café con árboles de servicio, como *Inga* spp., *Erythrina* spp., y los que incluyen árboles de producción de madera o de frutas. La mayor diferencia entre los dos es que el casi único propósito de los árboles de servicios es la producción de café. Los árboles se manejan exclusivamente en función de este propósito, o sea que se podan cuando es necesario según la fenología del cafeto. En el otro tipo, donde hay, además del café, otro(s) producto(s) importante(s), los árboles asociados, que tienen objetivos de producción, normalmente no se podan o se podan en función de su propia producción. Otras tipologías han sido desarrolladas, para otros fines, distinguiendo por ejemplo (Moguel y Toledo 1999), en orden de complejidad creciente, las plantaciones de monocultivo a pleno sol, las plantaciones de monocultivo bajo la sombra de una especie, el policultivo comercial, el policultivo tradicional y el sistema “rústico”. Para nuestros fines en este capítulo, la simple distinción según el propósito del árbol de sombra (servicio/producción) nos parece suficiente.

2.1 Árboles de servicio

Esta práctica es muy usual en sistemas moderadamente intensivos en América Latina. La diversidad específica en estos sistemas es reducida a dos o tres especies, incluyendo café. Las especies de sombra más frecuentes son *Erythrina* spp. (*poeppigiana*, *fusca*, *berteroana*), *Inga* spp. (*oerstediana*, *edulis*, *punctata*, *laurina*, *vera*, *jinicuil*), y en menor grado, *Gliricidia sepium* y *Grevillea robusta*. Son especies que por lo general fijan nitrógeno (mimosoideae o faboideae, con la excepción de *G. robusta*), tienen crecimiento muy rápido y resisten podas una o varias veces al año. Algunas producen leña de calidad buena o regular, otras producen frutas (*Inga edulis*, por ejemplo), y otras no producen ni leña ni frutas comestibles (*Erythrina poeppigiana*, por ejemplo). Se multiplican fácilmente, con estacas (*Erythrina* spp.) o semillas.

Por su capacidad de resistir podas frecuentes se puede manejar la sombra como se requiera, aunque esta práctica necesita mano de obra relativamente abundante. De esta manera, se podan usualmente en dos momentos del año; al final de la estación seca y al final de la estación lluviosa, para favorecer la maduración homogénea de los granos. En zonas más frías, por la altitud o por la latitud, también se maneja la sombra con el objetivo de proteger los cafetos contra las heladas, como por ejemplo *G. robusta* en Guatemala, o *Mimosa scabrella* en Brasil (Caramori et al. 1996).

Los servicios que aportan los árboles son principalmente dirigidos a la producción de café: protección del café de las grandes variaciones de temperatura, fertilizante nitrogenado por los residuos de podas y por la descomposición de los nódulos de las raíces después de la poda (Nygren y Ramírez 1995), mejoramiento de la estructura superficial del suelo y disminución de escorrentía de las aguas de lluvia (Meylan 2012), y disminución de la erosión. También se ha mencionado que la presencia de estos árboles permite disminuir la oscilación bienal de los rendimientos (Cannell 1975, DaMatta 2004), e incrementar la duración de vida de los cafetales (DaMatta 2004).

La producción de café depende en gran medida de los aportes de nitrógeno, que representan un gasto muy importante en las plantaciones de café (Meylan et al. 2013). Se ha manejado el concepto de que la presencia de árboles de servicio le confiere una mayor resiliencia ecológica (actuando como “buffer” de los cambios en el ambiente; la última crisis de la roya tiende a demostrar mayor resiliencia ecológica de los cafetales bajo sombra) y económica (con una menor dependencia a las variaciones de los precios, tanto de café como de insumos; Herzog 1994).

2.3 Árboles de madera o frutas

Una de las bases de los sistemas agroforestales es la posibilidad de tener varios elementos productivos en una misma área. La posibilidad de asociar el cafeto, adaptado a ambientes sombreados, con otra producción en el estrato superior es por lo tanto muy atractiva. Varias publicaciones, basadas en resultados de experimentos y en proyecciones, cuantifican los beneficios que los productores podrían esperar de estos asociados (Beer et al. 1998). En particular, se menciona la complementariedad de los productos en términos de flujo de caja: las frutas pueden proporcionar un ingreso relativamente estable en el transcurso del año, como es el caso del banano, o por lo menos desfasado con respecto a los ingresos del café, como es el caso del aguacate. Los productos adicionales al café también pueden representar un capital que se puede movilizar en casos particulares: la madera, por ejemplo, se puede vender para sufragar cualquier eventualidad, cuando los precios del café son muy bajos, o cuando se renueva una plantación y hay que compensar la falta de ingreso y el costo de la renovación. Finalmente, las tasas de crecimiento de los árboles asociados, que se benefician por la fertilización aportada a los cafetos, son mucho más altas que las tasas reportadas para plantaciones forestales puras (Jiménez et al. 2012). Estas complementariedades biológicas y económicas parecen darle una justificación perfecta a este tipo de asocio.

La realidad es probablemente más compleja. De hecho, en América Latina estos asociados de café con árboles maderables o frutales son mucho menos frecuentes que los sistemas agroforestales con árboles de servicio. Vamos a intentar resumir aquí las dificultades de realización de estos potenciales:

- La primera razón es biológica: si bien el cafeto es adaptado a ambientes sombreados, el manejo de una buena sombra, rala pero relativamente uniforme en el espacio, y variable en el tiempo, requiere cuidados y mano de obra. Los árboles de servicio, por facilidad para los productores, se mantienen a alturas relativamente bajas. Si se quiere producir madera, los árboles tienen que tener buenos fustes, por lo tanto ser altos. A medida que los árboles van creciendo en tamaño, se complica el manejo de la sombra. Si se quiere producir frutas, entonces no se adapta la estructura para la producción de una buena sombra, sino para la producción de frutas, lo cual requiere que los frutales se mantengan más bajos para facilitar la cosecha, cambiando así el tipo de sombra;
- La segunda razón es económica: el éxito de una producción descansa en gran parte en la cadena de valor; ésta es generalmente bien organizada para el café, pero mucho más compleja de organizar en paisajes agrícolas que producen madera infrecuentemente; además, los productores de café no están muy acostumbrados a relacionarse con comercializadores de madera, y es probable que no negocien tan bien su madera como lo hacen con el café. Es por esto que el asocio con árboles maderables parece limitarse a algunas grandes fincas con la capacidad para tener su propio aserradero, e incluso su fábrica y venta de muebles, para captar la mayor parte posible del valor agregado de la madera;

- La tercera razón, válida para los socios con frutales, es más ingenieril: es más simple manejar una plantación densa de frutales (plantación pura) que una plantación rala en asocio con café: en el sistema asociado los recorridos son mucho más largos, y el costo de mano de obra se incrementa. Además, la comercialización de frutas requiere usualmente la disponibilidad de una cadena de enfriado que es costosa y no siempre disponible en el medio rural.

En muchos países de Latinoamérica, nuevas políticas han sido adoptadas en tiempos recientes, cuyo objetivo es proteger los bosques remanentes. Muchas veces, estas leyes agregan requerimientos adicionales a los que quieren explotar plantaciones forestales, desincentivando la instalación de nuevas plantaciones, aunque estén planeadas en tierras agrícolas. Estas leyes, a su vez, podrían desincentivar el asocio de árboles maderables con cafeto. Existe en Honduras una iniciativa interesante al respecto: el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) ha logrado firmar un convenio con el ente rector de los bosques y las plantaciones forestales, para agilizar y facilitar en gran medida los trámites de explotación de madera producida en plantaciones de café. En un ambiente donde las plantaciones están desincentivadas, se ha logrado incentivar el asocio entre árboles maderables y café.

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales con café cubren dos millones de hectáreas en América Latina. Estos sistemas han ido evolucionando con el tiempo, con el fin principal de incrementar la producción de café. Sin embargo, los desafíos del siglo XXI obligan a incluir otros fines, relacionados con la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos en un clima que, además, viene modificándose. Hemos visto cómo todavía hace falta conocimiento sobre el funcionamiento de estos sistemas para poderlos dirigir hacia estos diferentes propósitos. La simple producción de madera en asocio con café aún es un desafío. En el intento de afrontar estos retos nos parece fundamental incrementar las investigaciones, particularmente en fincas de productores pequeños, medianos y grandes, para entender los desafíos particulares de la adopción de estos sistemas según las condiciones socioeconómicas de los productores. Esto nos permitirá a la vez considerar las oportunidades y limitaciones que ellos tienen – que explican en parte la diferencia entre la teoría biológica y la realidad productiva – así como también recolectar y utilizar sus conocimientos específicos sobre sus diversas condiciones de producción y sobre los árboles en asocio. Los primeros trabajos en este campo muestran la riqueza de este conocimiento (Cerdán et al. 2012) y la importancia de conocerlo al querer ampliar el espectro de los objetivos perseguidos.

Agradecimientos

Muchas de la investigaciones que sustentan este capítulo fueron realizadas en el marco del PCP “Sistemas Agroforestales con Cultivos Perennes”, una alianza estratégica entre el CIRAD (Centro de Cooperación en Investigación Agronómica para el Desarrollo, de Francia), el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), Bioversity International, CABI, el INCAE y Promecafé (Federación de los Institutos de Investigación en Café de América Central).

BIBLIOGRAFÍA

- Armbrecht, I; Gallego, MC. 2007. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis Et Applicata* 124:261-267.
- Avelino, J; Zelaya, H; Merlo, A; Pineda, A; Ordoñez, M; Savary, S. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* 197:431-447.
- Avelino, J; Barboza, B; Davrieux, F; Guyot, B. 2007a. Shade effects on sensory and chemical characteristics of coffee from very high altitude plantations in Costa Rica. Proceedings, Second International Symposium on Multi-Strata agroforestry systems with perennial crops: Making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment [Turrialba, Costa Rica, 17-21 Sept. 2007]. p. 5.
- Avelino, J; Cabut, S; Barboza, B; Barquero, M; Alfaro, R; Esquivel, C; Durand, JF; Cilas, C. 2007b. Topography and Crop Management are Key Factors for the Development of American Leaf Spot Epidemics on Coffee in Costa Rica. *Phytopathology* 97:1532-1542.
- Baker, PS; Rivas, A; Balbuena, R; Ley, C; Barrera, JF. 1994. Abiotic mortality factors of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Entomologia Experimentalis Et Applicata* 71:201-209.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38(1-3):139-164.
- Bosselmann, AS; Dons, K; Oberthur, T; Olsen, CS; Ræbild, A; Usma, H. 2009. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129(1-3):253-260.
- Campanha, M; Santos, R; de Freitas, G; Martinez, H; Garcia, S; Finger, F. 2005. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems* 63:75-82.
- Cannavo, P; Sansoulet, J; Harmand, JM; Siles, P; Dreyer, E; Vaast, P. 2011. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140(1-2):1-13.
- Cannell, MGR. 1971. Production and distribution of dry matter in trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. *Annals of Applied Biology* 67:99-120.
- Cannell, MGR. 1975. Crop physiological aspects of coffee bean yields: a review. *Journal of Coffee Research* 5:7-20.
- Cannell, MGR. 1985. Physiology of the coffee crop. Pp. 108-134 In: Clifford, MN; Wilson, KC. (Eds.). *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London, Croom Helm. 457 p.
- Caramori, P; Androcioli Filho, A; Leal, A. 1996. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. *Agroforestry Systems* 33: 205-214.
- Cerdán, CR; Rebolledo, MC; Soto, G; Rapidel, B; Sinclair, FL. 2012. Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. *Agricultural Systems* 110:119-130.
- Chaves, RM; Ten-Caten, A; Pinheiro, HA; Ribeiro, ACF; DaMatta, FM. 2008. Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. *Trees* 22:351-361.

- Cressey, D. 2013. Coffee rust regains foothold. Researchers marshal technology in bid to thwart fungal outbreak in Central America. *Nature* 493:587.
- DaMatta, FM. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research* 86(2-3):99-114.
- Damon, A. 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Bulletin of Entomological Research* 90:453-465.
- Franck, N; Vaast, P. 2009. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. *Tree Physiology* 23:761–769.
- Gómez-Delgado, F; Roupsard, O; le Maire, G; Taugourdeau, S; Pérez, A; van Oijen, M; Vaast, P; Rapidel, B; Harmand, JM; Voltz, M; Bonnefond, JM; Imbach, P; Moussa, R. 2011. Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrology and Earth System Sciences* 15:369-392.
- Guyot, B; Gueule, D; Manez, JC; Perriot, JJ; Giron, J; Villain, L. 1996. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica. *Plantations, Recherche, Développement* 3(4):272-283.
- Haggar, J; Barrios, M; Bolaños, M; Merlo, M; Moraga, P; Munguia, M; Ponce, A; Romero, S; Soto, G; Staver, C; Virginio, E. 2011. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agroforestry Systems* 82: 285-301.
- Herzog, F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 27:259-267.
- Jiménez, G; Siles, P; Bustamante, O; Rapidel, B; Staver, C. 2012. Optimizing timber production and carbon storage of *Cedrela odorata* and *Swietenia macrophylla* in coffee agroforestry systems in Honduras. ASIC 2012, 24th International Conference on Coffee Science, [Costa Rica, 12-16 nov. 2012].
- Kellermann, JL; Johnson, MD; Stercho, AM; Hackett, SC. 2008. Ecological and economic services provided by birds on Jamaican Blue Mountain Coffee Farms. *Conservation Biology* 22:1177-1185.
- Läderach, P; Oberthür, T; Cook, S; Estrada Iza, M; Pohlan, JA; Fisher, M; Rosales Lechuga, R. 2011. Systematic agronomic farm management for improved coffee quality. *Field Crops Research* 120(3):321-329.
- Leblanc, HA; McGraw, RL; Nygren, P. 2007. Dinitrogen-fixation by three neotropical agroforestry tree species under semi-controlled field conditions. *Plant and Soil* 291(1-2):199-209.
- Lin, BB. 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(4):510-518.
- López-Bravo, DF; Virginio-Filho, EdM; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection* 38:21-29.
- Mead, R; Willey, RW. 1980. The concept of a 'Land Equivalent Ratio' and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture* 16:217-228.
- Meylan, L. 2012. Design of cropping systems combining production and ecosystem services: developing a methodology combining numerical modeling and participation of farmers. Tesis PhD. Montpellier, Francia, Montpellier Supagro. 145 p.

- Meylan, L; Merot, A; Gary, C; Rapidel, B. 2013. Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services: The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. *Agricultural Systems* 118:52-64.
- Moguel, P; Toledo, VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems in Mexico. *Conservation Biology* 13:1-12.
- Mouen Bedimo, JA; Dufour, BP; Cilas, C; Avelino, J. 2012. Effects of shade trees on *Coffea arabica* pests and diseases. *Cahiers Agricultures* 21(2-3):89-97.
- Mouen Bedimo, JA; Njiyouom, I; Bieysse, D; Ndoumbè Nkeng, M; Cilas, C; Nottéghem, JL. 2008. Effect of shade on Arabica coffee berry disease development: Toward an agroforestry system to reduce disease impact. *Phytopathology* 98:1320-1325.
- Muschler, R. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 51(2):131-139.
- Nutman, FJ. 1937. Studies of the physiology of *Coffea arabica* I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. *Annals of Botany* 1(3):353-367.
- Nygren, P; Ramírez, C. 1995. Production and turnover of N₂ fixing nodules in relation to foliage development in periodically pruned *Erythrina poeppigiana* (Leguminosae) trees. *Forest Ecology and Management* 73(1-3):59-73.
- Nygren, P; Fernández, M; Harmand, JM; Leblanc, H. 2012. Symbiotic dinitrogen fixation by trees: an underestimated resource in agroforestry systems? *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 94(2-3):123-160.
- Palm, C. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* 30(1):105-124.
- Samper, M. 1999. Trayectoria y viabilidad de las caficulturas centroamericanas. Pp. 1-68 En: Bertrand, B; Rapidel, B. (Eds.). *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. San José, Costa Rica, CIRAD-IICA. 496 p.
- Schroth, G; Krauss, U; Gasparotto, L; Aguilar, JAD; Vohland, K. 2000. Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforestry Systems* 50(3):199-241.
- Sequeira, L. 1958. The host range of *Mycena citricolor* (Berk C Curt) Sacc. *Turrialba* 8:136-147.
- Staver, C; Guharay, F; Monterroso, D. and Muschler, R. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53(2):151-170.
- Vaast, P; Bertrand, B; Perriot, JJ; Guyot, B; Génard, M. 2006. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(2):197-204.
- van Kanten, R; Vaast, P. 2006. Transpiration of Arabica Coffee and Associated Shade Tree Species in Sub-optimal, Low-altitude Conditions of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 67(2):187-202.
- Verbist, B; Poesen, J; van Noordwijk, M; Widiyanto; Suprayogo, D; Agus, F; Deckers, J. 2010. Factors affecting soil loss at plot scale and sediment yield at catchment scale in a tropical volcanic agroforestry landscape. *CATENA* 80(1):34-46.
- Zadoks, JC; Schein, RD. 1979. *Epidemiology and plant disease management*. New York, Oxford University Press. 427 p.



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



Sede central, CATIE 7170
Cartago, Turrialba, 30501
Costa Rica
Teléfono: + (506) 2558-2000
Fax: + (506) 2558-2060

www.catie.ac.cr

El Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - CIPAV, es una organización no gubernamental de Colombia que tiene como misión institucional contribuir al desarrollo sostenible del sector rural, a través de la investigación, gestión, desarrollo y divulgación de alternativas productivas amigables con la naturaleza. El papel de CIPAV es estratégico en la construcción de nuevo conocimiento para la innovación, soportada por principios filosóficos y éticos con profundas raíces en los valores culturales y sociales de quienes han luchado durante generaciones por el campo.



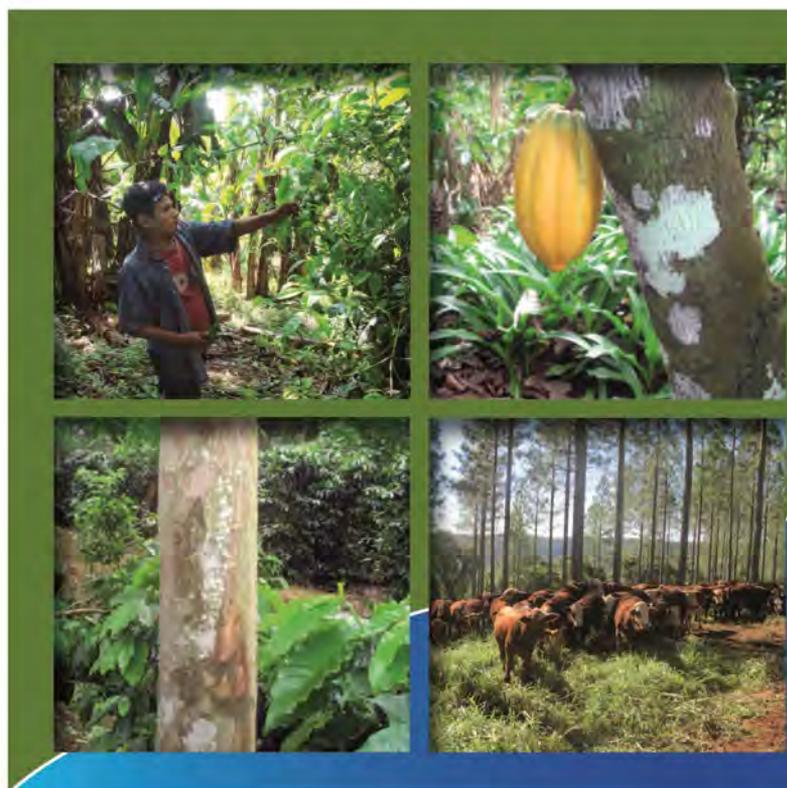
Carrera 25 No. 6-62
Cali, Valle del Cauca
Colombia
Teléfono: + (57) (2) 524-3061
Fax: + (57) (2) 519-0061

www.cipav.org.co

Con el apoyo de



COLCIENCIAS
Ciencia, Tecnología e Innovación



ISBN: 978-958-9386-74-3

