

ISSN 1022-7482

AGROFORESTERIA

Vol. 9 N°35-36 2002

EN LAS AMERICAS

www.catie.ac.cr



Investigación Agroforestal de Postgrado del CATIE en el 2001

CATIE
Centro Agronómico Tropical
de Investigación y Enseñanza

Índice

1. Editorial

Al Moslemi

La agroforestería continúa consolidándose dentro del proceso de educación a nivel de postgrado en el CATIE 4

2. Agroforestales en América 6

3. Avances de investigación

Fidel Payán; John Beer; David Jones; Reinhold Muschler; Jean Michel Harmand
Concentraciones de carbono y nitrógeno en el suelo bajo *Erythrina poeppigiana* en plantaciones orgánicas y convencionales de café 10

Alana das Chagas Ferreira Aguiar; Donald Kass
Enriquecimiento de la fertilidad del suelo en condiciones de invernadero con especies usadas como abono verde 16

Tomás Moreno; Andrea Schlönvoigt
Manejo de rastrojos enriquecidos con especies leguminosas en fincas de productores Ngöbes de la Cuenca del Río San Félix, Panamá 22

Jaime Alberto Florez; Reinhold Muschler; Celia Harvey; Bryan Finegan; David W. Roubik
Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas 29

Mildred Linkimer; Reinhold Muschler; Tamara Benjamin; Celia Harvey
Árboles nativos para diversificar cafetales en la zona Atlántica de Costa Rica 37

Pablo Siles Gutiérrez; Philippe Vaast
Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* y sin sombra 44

Alfonso Suárez; Eduardo Somarriba
Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica 50

Cristina Yépez; Reinhold Muschler; Tamara Benjamín; Miguel Musálem
Selección de especies para sombra en cafetales diversificados de Chiapas, México 55

Karen Judith Hernández; Muhammad Ibrahim; Guillermo Dellefsen; Celia Harvey; Kees Prins
Cuantificación y calificación de pasturas degradadas incorporando conocimiento local de ganaderos de la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala 62

Cristóbal Villanueva; Muhammad Ibrahim
Evaluación del impacto de los sistemas silvopastoriles sobre la recuperación de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura en Costa Rica 69

Nadiejda Barbera; Luko Hilje; Paul Hanson; John T. Longino; Manuel Carballo; Elías de Melo
Diversidad de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, en Turrialba, Costa Rica 75

Reina Vanessa Renderos Durán; Jean-Michel Harmand; Francisco Jiménez; Donald Kass
Contaminación del agua con nitratos en microcuencas con sistemas agroforestales de *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica 81

4. ¿Cómo hacerlo?

Eduardo Somarriba
¿Cómo estimar visualmente la sombra en cacaotales y cafetales? 86

Cristina Yépez Pacheco
¿Cómo diversificar la sombra en cafetales con criterios locales de selección? 95

5. Reseñas agroforestales 99

6. Publicaciones agroforestales 100

7. Agenda agroforestal 104

Agroforestería en las
Américas
Vol. 9 N° 35-36, 2002



AGROFORESTERIA
EN LAS AMÉRICAS



Corte de las leguminosas, para posterior incorporación de la materia seca en los suelos del experimento en un invernadero del CATIE Turrialba, Costa Rica. Foto: Alex López. Ver página 17



Muestra del aprovechamiento de árboles de *Cordia alliodora* en las reservas indígenas del Cantón de Talamanca, Limón, Costa Rica. Foto: Alfonso Suárez. Ver página 51



Quebrada en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica, la cual muestra el asocio *Coffea arabica* - *Eucalyptus deglupta*. Foto: Vanessa Renderos. Ver página 82

La Agroforestería continúa consolidándose dentro del proceso de educación a nivel de Postgrado en el CATIE

La educación a nivel de postgrado en el CATIE, tiene una larga historia, iniciando en 1946 cuando fue establecido como el primer programa de postgrado en agricultura y recursos naturales en América Latina. Desde entonces, alrededor de 2000 graduados (M.Sc.) han contribuido al desarrollo de la agricultura sostenible y manejo de los recursos naturales de la región. Muchos de nuestros graduados son líderes de diferentes organizaciones gubernamentales, no gubernamentales y del sector privado.

CATIE sigue buscando la excelencia en su educación a nivel de postgrado. Los trabajos de investigación que se realizan, tanto a nivel de maestría como doctorado, se integran con las actividades académicas que no solamente contribuyen al desarrollo profesional, sino a tratar temas de investigación aplicada y básica de alta importancia para el trópico americano. Cada día nos esforzamos para encausar la educación e investigación a nivel de postgrado del CATIE hacia la diversificación de las oportunidades para el sector rural para reducir la pobreza y/o mejorar la productividad en una forma sostenible y ambientalmente aceptable. Así estamos asegurando que los resultados de nuestro trabajo contribuyan a la toma de decisiones políticas de nuestros países miembros.

Desde el inicio, la agroforestería ha sido un concepto clave en CATIE para la integración de la agricultura con el manejo de los recursos naturales renovables. La primera tesis de maestría en el CATIE, con tema agroforestal, se realizó en 1954, pero no fue sino hasta 1983 cuando la Escuela de Postgrado egresó al primer especialista en Manejo de Recursos Naturales Renovables con diploma de especialidad en "Sistemas Agrosilvopastoriles".

El programa doctoral del CATIE inició en 1996 como una consecuencia lógica del proceso del desarrollo educacional que había ofrecido por más de medio siglo.

A pesar de su reciente comienzo, el programa doctoral del CATIE ya es internacionalmente reconocido por su alta calidad. Es ofrecido mediante programas conjuntos, completamente integrados, con universidades que cuentan con más de 100 años de experiencia del Reino Unido y de los Estados Unidos de Norteamérica. Ambas instituciones asociadas evalúan y confieren el grado. La integración internacional y los intercambios entre países son cada día más influenciados en nuestras vidas. La educación de postgrado no debe perder las oportunidades presentadas por esta visión regional y hasta global. La mejor forma de mejorar la educación de postgrado en el manejo de la agricultura y los recursos naturales del trópico es por medio de este tipo de unión de una institución regional como el CATIE, que ofrece una base científica de primera categoría, con estas universidades de Estados Unidos (p.ej., Universidad de Idaho) y del Reino Unido (p.ej., Universidad de Gales), que tienen equipo, especialistas y recursos no disponibles en países en desarrollo (p.ej., laboratorios, telecomunicaciones, colecciones de germoplasma, etc.). El creciente número de artículos de nuestros estudiantes de Ph.D. que han sido publicados en revistas científicas de ámbito internacional, demuestra la calidad de este programa.

Para el futuro visualizamos muchas oportunidades más de mejorar nuestras ofertas educacionales. Por ejemplo, el concepto de adjudicar grados profesionales basados en cursos sobre manejo de recursos naturales, agricultura y mercados internacionales. Tal concepto puede ser aplicable también al manejo de cuencas hidrográficas. Además, otras universidades europeas se han acercado al CATIE; p. ej., para desarrollar un programa de maestría conjunto en biodiversidad.

Actualmente CATIE está legalizando la Asociación de Egresados, mediante la cual esperamos una retroalimentación de nuestros ex - alumnos, que en muchos casos han acumulado considerables conocimientos y experiencia. Ellos podrían ayudarnos a

modificar continuamente nuestra educación de postgrado, de tal forma que permanezca relevante de acuerdo a las necesidades de nuestra región.

Estamos complacidos de ofrecerles este número especial que presenta los resultados de la investigación agroforestal completada por nuestros estudiantes que culminaron su maestría en agroforestería en el 2001. Los temas presentados en esta edición, se enmarcan dentro de las tres principales sub-líneas de investigación que estaban siendo impulsadas por el Área de Cuencas

y Sistemas Agroforestales (ACSAF) del CATIE hasta finales del 2001: a) sistemas agroforestales para la producción de cultivos anuales en laderas del trópico húmedo; b) sistemas agroforestales para cultivos perennes; y c) sistemas silvopastoriles para pastos degradados del trópico húmedo. Además se incluyen los trabajos de tesis de dos estudiantes que obtuvieron su maestría en otras especialidades del CATIE (Manejo Integrado de Plagas y Manejo de Cuencas Hidrográficas), pero cuyas tesis llevaron el enfoque agroforestal, y un artículo de uno de los estudiantes de Ph.D.

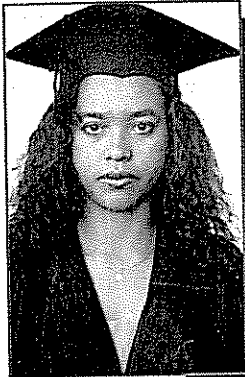
Al Moslemi, Ph.D.
Decano Escuela de Posgrado, CATIE
E-mail : amoslemi@catie.ac.cr



Una de las promociones de estudiantes recién graduados en Agroforestería Tropical del CATIE, incluyendo a sus profesores consejeros. Foto: Celia Harvey.

Agroforestales en América

Con Maestría en Agroforestería del CATIE



ALANA DAS CHAGAS FERREIRA AGUIAR

Nació en Sao Luis, Maranhao, Brasil el 17 de septiembre de 1975. Estudió en la Universidad Estatal de Maranhao, donde se graduó de Ingeniera Agrónoma en 1999. Trabajó como investigadora durante los cinco años de la Universidad. Con fondos de la Fundación Konrad Adenauer ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: Avenida Santos Dumont, 2145, Sao Cristovao, Sao Luis, Maranhao, Brasil. CEP 65031 - 510. Tel. (98) 232 4530. E-mail: alanaaguiar@elo.com.br



JAIME ALBERTO FLOREZ FERNÁNDEZ

Nació en Cali, Colombia, el 6 de octubre de 1969. Estudió en la Universidad Nacional de Colombia con sede en Palmira, donde se graduó de Ingeniero Agrónomo en 1996. Trabajó como investigador en el Programa de Arroz del CIAT. Con fondos de la Fundación FUDATROPICOS del CATIE y del Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ ingresó al Programa de Maestría en Sistemas Agroforestales del CATIE en enero de 1999 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: Calle 47B norte No. 2-AN-66. Cali, Colombia. E-mail: jaimeflorez@excite.com



KAREN JUDITH HERNÁNDEZ CABRERA

Nació en Asunción Mita, Jutiapa, Guatemala el 28 de marzo de 1972. Estudió en la Universidad de San Carlos de Guatemala donde se graduó de Licenciada en Zootecnia en 1997. Trabajó como consultora en la Organización PROMUJER de Ixcán, Guatemala y como Profesora en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Con fondos de DANIDA ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección del Trabajo: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad Universitaria Zona 12, Edificio M-6, Ciudad de Guatemala. Tel. (502) 476 7236. E-mail: cabrera_gt@yahoo.com



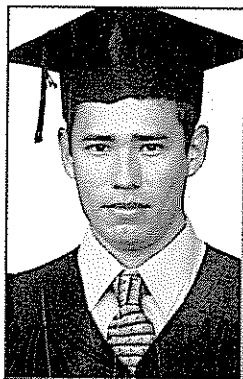
MILDRED LINKIMER ABARCA

Nació en Turrialba, Costa Rica el 9 de mayo de 1975. Estudió en la Universidad de Costa Rica, sede del Atlántico en Turrialba, donde se graduó de Bachiller en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia en 1999. Con fondos del Proyecto CATIE/GTZ y del Proyecto CATIE-MIP-AF/NORAD ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: 8ª calle Puntarenas, frente a Almacén Digrasa, Turrialba, Cartago, Costa Rica. Tel. (506) 556 4610. E-mail:mlinkimer@costarricense.cr



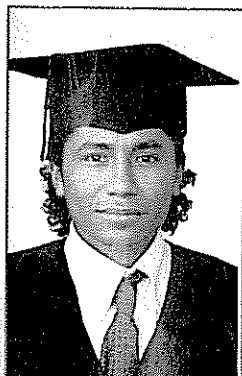
VESALIO MORA CALVO

Nació en Turrialba, Costa Rica el 24 de noviembre de 1964. Estudió en la Universidad de Costa Rica, sede del Atlántico en Turrialba, donde se graduó de Licenciado en Agronomía con énfasis en producción en 1990. Trabajó como funcionario del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Costa Rica con sede en Turrialba. Con fondos de ASDI y del MAG ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: 100 m Oeste del Almacén La Fortuna, Turrialba, Cartago, Costa Rica. Tel. (506) 385 7083. E-mail: vesamora@costarricense.cr



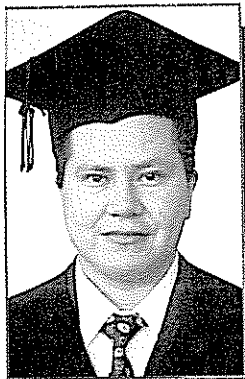
TOMÁS BOLÍVAR MORENO MONTILLA

Nació en ciudad Panamá el 5 de julio de 1970. Estudió en la Universidad Nacional de Panamá, donde se graduó de Licenciado en Biología en 1999. Trabajó como técnico del Proyecto del Gusano Barrenador del Ganado del IICA y para la Comisión Panamá – Estados Unidos para la Erradicación y Prevención del Gusano Barrenador del Ganado. Con fondos de ASDI y del Departamento de Agroforestería del CATIE, ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. E-mail: tmoreno2002@yahoo.com



PABLO SILES GUTIÉRREZ

Nació en Jinotega, Nicaragua el 1 de enero de 1979. Estudió en la Universidad EARTH de Guácimo, Limón, Costa Rica, donde se graduó de Ingeniero Agrónomo en 1998. Trabajó como Extensionista en el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). Con fondos de DANIDA y NORAD ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: De la Alcaldía 5 cuadras al Norte, Jinotega, Nicaragua. Tel. (505) 632 2821. E-mail: psiles79@hotmail.com



ALFONSO SUÁREZ ISLAS

Nació en Tulancingo, Hidalgo, México el 9 de noviembre de 1972. Estudió en la Universidad Autónoma de Chapingo, donde se graduó de Ingeniero Forestal en 1995. Trabajó como Investigador Auxiliar en el Colegio de Postgraduados de Chapingo y como Consultor para la Organización Agroforestería Tropical Los Tuxtlas y para la Asociación de Silvicultores de la región Pachues-Tulancingo. Con fondos de la Fundación FUNDATROPICOS del CATIE y del Proyecto CATIE-GEF Cacao Orgánico y Biodiversidad ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: Galeana 705, Col. Vicente Guerrero, Tulancingo, Hidalgo, México. C.P. 43630. Tel. (775) 32 087. E-mail: asuarezis@hotmail.com



CRISTÓBAL VILLANUEVA NAJARRO

Nació en Jutiapa, Jutiapa, Guatemala el 3 de enero de 1970. Estudió en la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se graduó de Licenciado en Zootecnia en 1994. Trabajó como Profesor Universitario del Centro Universitario de Jalapa y de la Escuela de Zootecnia, ambos de la Universidad de San Carlos de Guatemala; además brindó asistencia técnica a fincas privadas y ONGs. Con fondos de ASDI ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tel. (506) 558 2341. E-mail: villanu@catie.ac.cr



CRISTINA YÉPEZ PACHECO

Nació en Tapachula, Chiapas, México el 24 de julio de 1974. Estudió en la Universidad Autónoma de Chapingo, donde se graduó de Ingeniera en Agroecología en 1997. Trabajó como Asistente de Investigación y Docencia en la Universidad de Chapingo, así como Asesora Técnica en Agroecología para la Fundación PRONATURA e Inspectora de Productos y Procesos Ecológicos en Café Orgánico para CERTIMEX. Con fondos de la Fundación FUNDATROPICOS del CATIE, de CONACYT de México y del Programa Conservación de Bosques de Niebla y Desarrollo Rural DFID/PRONATURA, Chiapas, ingresó al Programa de Maestría en Agroforestería Tropical del CATIE en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: 5ª. Calle Poniente y 6ª. Avenida Norte, Suchiate, Chiapas, México. C.P. 30840. Tel. (962 69) 802 26. E-mail: crisyepz@hotmail.com

Con otras Maestrías del CATIE



NADIEJDA MARÍA BARBERA CASTILLO

Nació en Caracas, Venezuela el 11 de septiembre de 1970. Estudió en la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda donde se graduó de Ingeniera Agrónoma en 1997. Trabajó como facilitadora de la unidad curricular de Educación Ambiental de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda de 1998 a 1999. En enero del 2000 ingresó al Programa de Maestría de Agricultura Ecológica del CATIE, donde con fondos propios y media beca del CATIE culminó su maestría con énfasis en Fitoprotección en diciembre del 2001. Dirección: Avenida Los Orumos, Residencial Avaria No. 5, Coro 4101, Estado Falcón, Venezuela. Tel. (0268) 252 3129. E-mail: nbarbera57@hotmail.com



REINA VANESSA RENDEROS D.

Nació en San Salvador, El Salvador el 2 de junio de 1972. Estudió en el Instituto Tecnológico Centroamericano donde se graduó de Licenciada en Ciencias Químicas en 1996. Trabajó como encargada del Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas y posteriormente en diversos puestos en la iniciativa privada. Con fondos de FOCUENCAS ingresó al Programa de Maestría en Manejo de Cuencas Hidrográficas en enero del 2000 y obtuvo su grado en diciembre del 2001. Dirección: Residencial Jardines de San Antonio, Senda a San Antonio No. 20, calle a Motocross, San Salvador, El Salvador. Tels. (503) 274 7502 y 257 7453. E-mail: vanren@integra.com.sv

Concentraciones de carbono y nitrógeno en el suelo bajo *Erythrina poeppigiana* en plantaciones orgánicas y convencionales de café

Fidel Payán Z¹, John Beer², David Jones³, Jean Michel Harmand², Reinhold Muschler²

Palabras claves: Agricultura orgánica; carbono; *Coffea arabica*; materia orgánica; nitrógeno; suelo.

RESUMEN

Se comparó el efecto de *Erythrina poeppigiana*, utilizado como árbol de sombra, en las concentraciones de C y N total en el suelo a tres diferentes posiciones con respecto al árbol y a tres profundidades del suelo, en fincas orgánicas y convencionales de café. Se compararon seis pares de fincas con condiciones de manejo y ambientales similares dentro de cada par. Las concentraciones de C y N en la capa 0-5 cm fueron similares para las tres posiciones en el sistema orgánico, pero en el sistema convencional, la posición cercana al árbol tuvo la concentración más alta de C y N con respecto a las posiciones situadas a más de 2 m del árbol (5,04 vs. 4,03% para C y 0,44 vs. 0,35% para N). El promedio general de C y N fue mayor en el sistema orgánico que en el convencional (5,06 vs. 4,35%; 0,42 vs. 0,37%, respectivamente).

Soil carbon and nitrogen concentrations below *Erythrina poeppigiana* in organic and conventional coffee plantations

ABSTRACT

The impact of the shade tree *Erythrina poeppigiana* on soil total C and N concentrations, at three different positions relative to the tree, and for three different soil depths, was compared using six pairs of farms (organic and conventional) with similar management and environmental conditions for each pair. C and N concentrations within the 0-5 cm layer were similar for all positions in the organic system, but in the conventional system higher C and N concentrations were found close to the shade tree vs. the positions 2 m from the trunk (5.04 vs. 4.03% for C and 0.44 vs. 0.35% for N). The average soil C and N concentrations in organic farms were higher than conventional farms (5.06 vs. 4.35%; 0.42 vs. 0.37%, respectively).

INTRODUCCIÓN

Las constantes caídas de precios en el mercado del café han provocado la búsqueda de alternativas de producción y de nichos de demanda no saturados. Una opción es la caficultura orgánica, un sistema agroforestal que ha crecido en superficie e importancia económica (Lyngbaeck *et al* 1999) y que mitiga algunos de los impactos negativos del uso de agroquímicos en la agricultura convencional (Reganold *et al* 1993). Sin embargo, las posibles ventajas ecológicas de los sistemas orgánicos en comparación con los sistemas de producción convencionales deben ser evaluadas en un mayor número

de sitios con diferentes suelos. También hace falta más estudios sobre el impacto del manejo orgánico en los costos e ingresos de las fincas cafeteras, para poder asegurar su sostenibilidad económica, además de ecológica.

Uno de los problemas principales para llevar a cabo una producción orgánica eficiente, desde el punto de vista económico, es la falta de materiales orgánicos vegetales o animales, accesibles para el abonado de los cafetos (Lyngbaeck *et al* 1999). Se conoce que los residuos orgánicos de hojas y raíces, aportados por los árboles de

¹ Estudiante Ph D CATIE-UWB- Turrialba E-mail: payan@catie.ac.cr (autor para correspondencia)

² Profesores-investigadores CATIE. E-mails: jbeer@catie.ac.cr; muschler@catie.ac.cr; harmand@catie.ac.cr

³ Profesor-investigador Universidad de Wales - Bangor E-mail: d.jones@bangor.ac.uk

sombra, constituyen una importante fuente de nutrientes (Beer 1988; Fassbender 1993) y que dichos árboles tienen un importante papel en el reciclamiento de nutrientes para los cultivos (Young 1999). Sin embargo, existe aún la necesidad de realizar estudios más profundos acerca de su efecto sobre las variables edafológicas; especialmente sobre la acumulación/descomposición de los diferentes tipos de materiales orgánicos dentro de sistemas "orgánicos" (Vaast y Snoeck 1999; Fernández y Muschler 1999) y sobre el rol de las diferentes fracciones de la materia orgánica (MO) en el aprovechamiento por los cafetos de los nutrientes contenidos en los residuos de poda de los árboles (Beer *et al* 1998).

Los avances que se presentan en este trabajo forman parte de una investigación más amplia, cuyo objetivo es analizar el efecto del árbol de sombra *Erythrina poeppigiana* sobre algunas variables químicas y biológicas del suelo dentro de cafetales orgánicos y convencionales. En este artículo se analizará el efecto específico de este árbol de sombra sobre las concentraciones de C y N del suelo, en tres diferentes posiciones con respecto al árbol y a tres profundidades, contrastando sistemas orgánicos y convencionales de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Criterios de selección de fincas

Se utilizó una comparación de seis pares de fincas (una orgánica y una convencional) con menos de 500 m entre las fincas de cada par en los cantones de Aserri (Aserri 1 y Aserri 2), Turrialba (CATIE), Paraíso (Paraíso y Pejivalle) y San Ramón, Costa Rica. Se escogieron fincas con características de manejo lo más similares posibles dentro del par, solo difiriendo en el uso de insumos químicos. Las fincas orgánicas tuvieron un mínimo de cuatro años de haber hecho la conversión tecnológica (rango de 4 a 10 años) y se buscó que estuvieran certificadas como orgánicas. También se buscó que existiera cierto "liderazgo tecnológico" de los propietarios, pero siempre tratando de que el paquete técnico aplicado por el agricultor en su finca fuera representativo de su región. Las fincas con tecnología convencional fueron seleccionadas por su cercanía a la finca orgánica previamente escogida y por aplicar un paquete tecnológico contrastante con aquella, en lo que se refiere al uso de herbicidas, fungicidas sintéticos y fertilizantes químicos. Sin embargo, estas fincas deberían tener condiciones de cultivo similares en lo que se refiere al uso de sombra de *E. poeppigiana*, variedades de café y densidad de siembra, tipo de suelo y condiciones topográficas, climáticas y de altitud (msnm), así como tamaño de la finca y capacidad económica del

agricultor. Dada la dificultad para encontrar pares de fincas con estas características, en algunos casos se incluyeron pares que no tenían todas las características deseables: en dos pares de fincas, las fincas orgánicas tuvieron una sombra un poco más densa que las convencionales, debido a una poda menos intensa y frecuente de los árboles de *E. poeppigiana*; en otro caso, la finca orgánica tenía una pendiente mayor que su vecina tradicional. También se incluyó otro par de fincas en las que tanto en la finca orgánica como en la tradicional no se utilizaba sombra por la alta nubosidad durante todo el año. Sin embargo, dado que si cumplían con la mayoría de los requisitos para ser comparables se decidió incluirlas en el estudio.

Se realizaron entrevistas con los agricultores para registrar la historia del uso de suelo y el manejo agronómico de su cafetal. Dado que la investigación se llevó a cabo mayormente en fincas privadas, es muy importante remarcar que la experimentación en este tipo de propiedades está sujeta a una gran variabilidad espacial interna de las características topográficas, edafológicas y de los componentes vegetales, puesto que los cafetos y árboles de sombra tienen generalmente diferentes edades, espaciamientos y hasta variedades por las "resiembras" (Somarriba *et al* 2000).

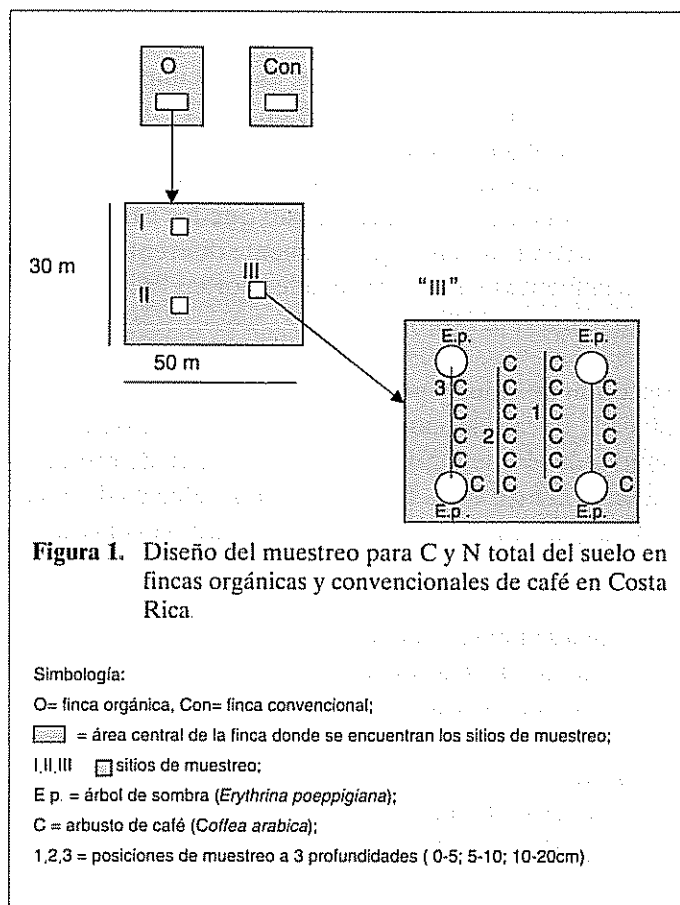
Selección de sitios y posiciones de muestreo

En cada finca seleccionada se identificó una parcela de estudio de alrededor de 30 x 50 m, ubicada de preferencia en el centro de la finca para evitar efectos de colindancia con otras fincas. Dentro de estas parcelas se seleccionaron al azar tres sitios, cada uno determinado por la presencia de cuatro árboles de *E. poeppigiana* y aproximadamente cuatro hileras de café (Figura 1). En cada uno de los tres sitios seleccionados, se muestreó el suelo en tres posiciones, determinado por la mayor o menor distancia a un árbol de *E. poeppigiana* seleccionado al azar dentro del sitio. De esta manera resultaron muestreados: 1) una posición entre dos hileras de café a 2 m del árbol ("calle"); 2) una posición debajo de una mata de café a 2 m del árbol ("bc>2"); y 3) una posición situada debajo de una mata de café y a menos de 1 m de un árbol ("bc<1").

Toma de muestras

En la posición entre dos hileras de café, las muestras fueron tomadas en el centro de la calle (Figura 1). En las posiciones ubicadas debajo de una mata de café, las barrenaciones se tomaron a una distancia de 30 a 40 cm del tronco del cafeto. En caso de encontrarse con una

raíz estructural se hizo una nueva barrenación a la par. Se utilizó un barreno helicoidal de hierro para obtener muestras a tres profundidades: 0-5, 5-10 y 10-20 cm. Después de retirar manualmente la hojarasca hasta encontrar el suelo mineral, se realizaron entre 4 y 5 barrenaciones por cada profundidad para obtener muestras compuestas representativas de cada posición. En cada barrenación, excepto en la de 0-5 cm, se desecharon los primeros 2-3 cm de suelo suelto en la parte superior del barreno porque se trataba de suelo desprendido de las paredes del agujero de la barrenación anterior, correspondiente a una menor profundidad. Finalmente se mezclaron las muestras correspondientes de los tres sitios en cada finca (para cada posición y profundidad) y de esta manera se obtuvieron 9 muestras compuestas por cada finca (3 posiciones x 3 profundidades).



Preparación de muestras y análisis de laboratorio

Después de ser extraídas del campo, las muestras se mantuvieron frías en hieleras y se conservaron en refrigeración a 4°C. Posteriormente se secaron y fueron pasadas por un tamiz acerado de 2 mm. Para los análisis de C y N total, alrededor de 3 g de suelo fueron pulverizados en un mortero de porcelana. Entre 0,1 y 0,2 g de suelo de cada muestra fueron pesados y envueltos en

una lámina delgada de estaño para ser analizadas por gasificación en un analizador CHN2000 (Leco Corporation St. Joseph, MI, USA). La mayor parte de las pruebas se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad de Gales en Bangor, Reino Unido.

Diseño y análisis estadístico

Los datos se analizaron como un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas con seis repeticiones. Se analizaron con ANDEVA y con pruebas de t para pares de muestras utilizando la versión 8 de SAS (Instituto SAS Inc., Cary, NC, EEUU 1999). También se realizó un análisis de frecuencias, comparando las concentraciones de C y N, entre los dos sistemas de cultivo para cada par de fincas; es decir, tabulando el número de fincas que tenían una concentración mayor, menor o igual en relación con su vecina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la cercanía del árbol de sombra y/o del café en las concentraciones de C y N total en el suelo

En el análisis de varianza, el coeficiente de variación (CV) fue menor al 12%, lo cual indicó una adecuada precisión del diseño experimental utilizado. Sin embargo, es necesario aumentar el número de pares de fincas muestreadas para mejorar la sensibilidad del ANDEVA, ya que con el número actual, un solo par de fincas con resultados contrarios a la tendencia general de las variables (Aserrí 1 en la Figura 2) eliminó las diferencias estadísticamente significativas con esta prueba. Al ser retirado este par de fincas del análisis, dado que la finca orgánica se encontraba en la parte superior de una pendiente debajo de la cual se encontraba la finca tradicional (pudiéndose haber depositado materiales orgánicos y suelo en esta última alterando los resultados), se encuentran diferencias altamente significativas para la concentración de carbono tanto para sistema, como para posiciones.

En el análisis de frecuencias, se encontró que en general para la profundidad 0-5 cm las concentraciones de C y N en los seis pares de fincas se comportaron de manera similar: para las posiciones "calle" y más de 2 m del árbol y debajo de un café ("bc>2"), cuatro de las seis fincas orgánicas tuvieron mayores concentraciones de C que las convencionales (Figura 2), y solo en un par de fincas (dos en el caso del N) la tendencia fue contraria; en la posición cercana al árbol ("bc<1"), dos pares de fincas para C y tres para N (de los cinco pares de fincas analizados para esa posición) mostraron concentraciones idénticas. Al calcularse un promedio de las

tres posiciones para cada finca, cinco de las seis fincas orgánicas tuvieron mayor concentración de C y de N que su contraparte convencional.

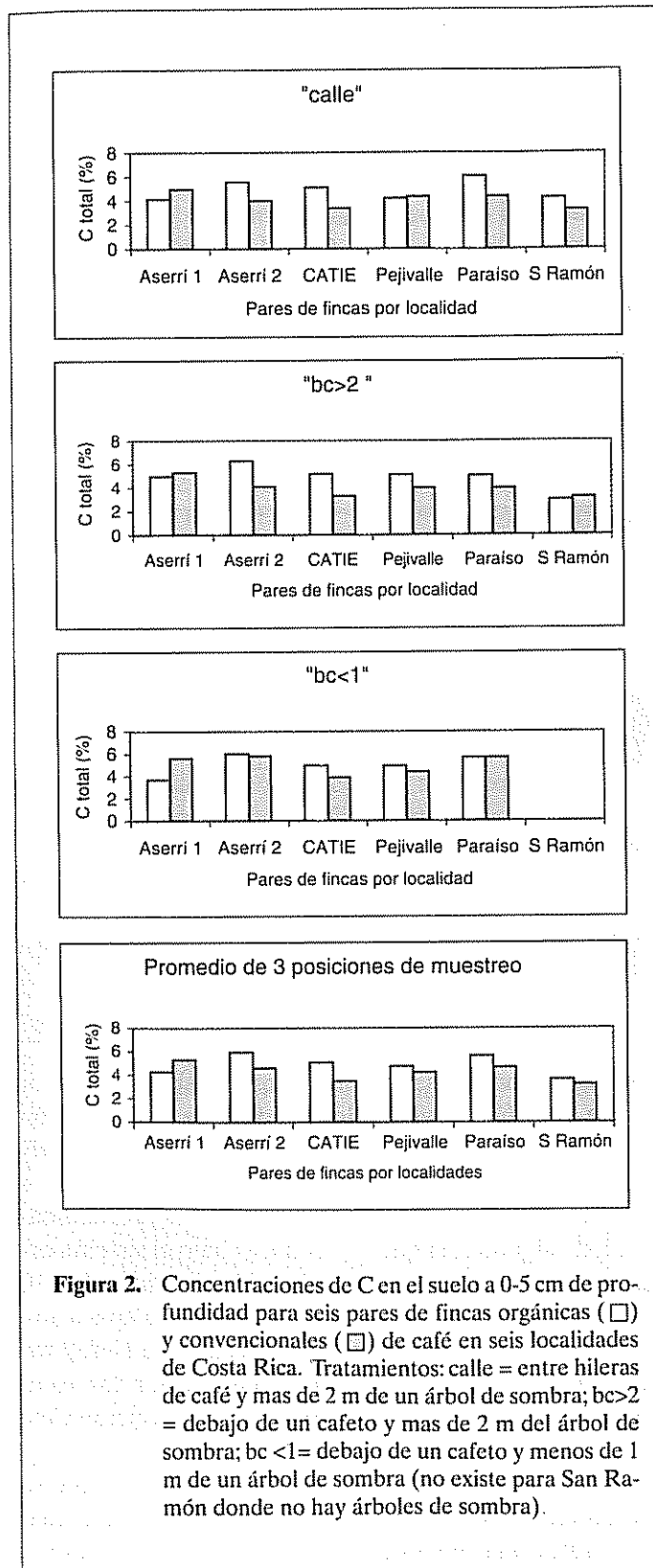


Figura 2. Concentraciones de C en el suelo a 0-5 cm de profundidad para seis pares de fincas orgánicas (□) y convencionales (■) de café en seis localidades de Costa Rica. Tratamientos: calle = entre hileras de café y mas de 2 m de un árbol de sombra; bc>2 = debajo de un cafeto y mas de 2 m del árbol de sombra; bc <1= debajo de un cafeto y menos de 1 m de un árbol de sombra (no existe para San Ramón donde no hay árboles de sombra).

Cuando se analizaron los promedios de las concentraciones de C y N para las posiciones en la capa 0-5 cm, se observó que en las fincas orgánicas las tres posiciones no mostraron diferencias en cuanto a la concentración de C (Figura 3), ni a la de N (Figura 4). En las fincas bajo sistema convencional, la concentración de C en las dos posiciones a distancias mayores a 2 m del árbol, fue similar entre ellas, pero inferior al valor obtenido en la posición a menos de 40 cm del árbol (4,03 y 4,00 vs. 5,04%; $p < 0,05$, prueba de t). La concentración de N mostró un comportamiento muy similar ya que la posición cercana al árbol, tuvo mas concentración que las dos alejadas del árbol. Cuando se compararon los sistemas de cultivo, no hubo diferencias para la posición cercana al árbol, pero en las posiciones situadas a más de 2 m del tronco, hubo más C y N en el suelo del sistema orgánico ($p < 0,05$ para C en la prueba de t, Figura 3; en N solamente significativo [$p < 0,05$] para "calle", Figura 4). Se calculó un promedio general para cada sistema, observándose que el suelo en el sistema orgánico tuvo una concentración mayor de C y N que el convencional (5,06 vs. 4,35%; y 0,42% vs. 0,37%, respectivamente). Las concentraciones de C y N disminuyeron desde la capa mas superficial hasta las de mayor profundidad como era esperado.

En las profundidades 5-10 y 10-20 cm las concentraciones de ambos elementos fueron parecidas entre posiciones para un sistema dado y entre sistemas de producción. Por tanto, las diferencias en las concentraciones de C y N entre los sistemas y entre las posiciones dentro de un sistema solamente fueron evidentes en la capa 0-5 cm. Eso indicaría que el efecto de la deposición superficial y descomposición de la materia orgánica (MO) de los residuos de hojas y ramas de los árboles y de las arvenses fue más importante que el aporte de la descomposición de las raíces de los árboles. Vaast y Snoeck (1999) señalan que el aporte de N de la MO proviene mayoritariamente de la parte aérea de los árboles, que de la descomposición de nódulos y raíces en el suelo.

El efecto de los árboles en la concentración de C y N en el suelo circundante fue más notable en los sistemas convencionales debido posiblemente a que tienen menos residuos vegetales sobre el suelo y a la falta de una cubierta protectora del suelo, debido al uso de herbicidas. En algunos casos las fincas con manejo convencional tuvieron una menor densidad de sombra y también una mayor frecuencia en las podas, lo cual concentra los residuos en el área cercana al tronco de los árboles.

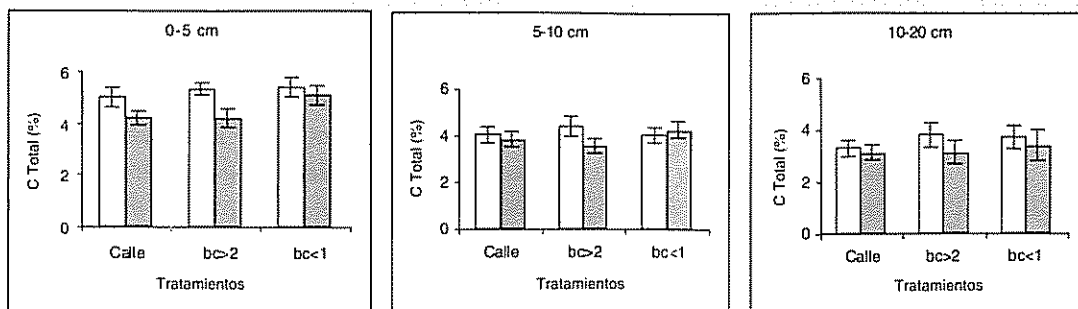


Figura 3. Carbono total en el suelo de fincas orgánicas y convencionales de café en Costa Rica. Tratamientos: calle = entre hileras de café y mas de 2 m de un árbol de sombra; bc>2= debajo de un cafeto y mas de 2 m del árbol de sombra; bc <1= debajo de un cafeto y menos de 1 m de un árbol de sombra. Sistema orgánico (□), sistema convencional (■).

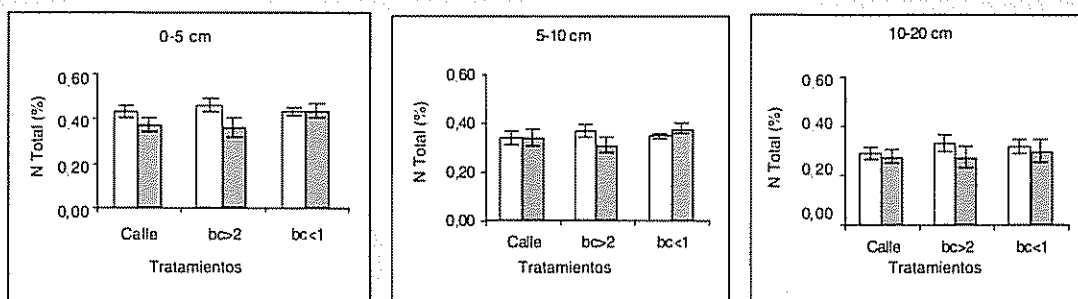


Figura 4. Nitrógeno total en el suelo de fincas orgánicas y convencionales de café en Costa Rica. Tratamientos: calle = entre hileras de café y mas de 2 m de un árbol de sombra; bc>2= debajo de un cafeto y mas de 2 m del árbol de sombra; bc <1= debajo de un cafeto y menos de 1 m de un árbol de sombra. Sistema orgánico (□), sistema convencional (■).

La ausencia de un efecto espacial de los árboles de sombra en el sistema orgánico pudo deberse al uso de abonos orgánicos, coberturas verdes y al uso de las arvenses cortadas como mulch. Las ligeras diferencias en las concentraciones de C y N en la capa 0-5 cm y la falta de ellas en las capas 5-10 y 10-20 cm, podrían ser el resultado de una saturación del C del suelo, que es independiente del manejo que se de al mismo (Six *et al* 2002).

En los sistemas convencionales, la cercanía de *E. poeppigina* aumentó la concentración de C y N, contrarrestando los efectos negativos sobre la MO del suelo, debido al uso de los plaguicidas y a la erosión que han sido reportados como consecuencia del manejo convencional (Reganold *et al* 1993; Fliebbach y Mäder 2000). Esta compensación que realizaron los ár-

boles en la zona mas cercana a ellos, se debería al mayor aporte de MO a través de los residuos de poda que son dejados cerca del tronco (Beer 1988). La relación C/N se mantuvo prácticamente igual (entre 11 y 12) para los sistemas y posiciones de muestreo a las tres profundidades. Esto significaría que en las fincas bajo el sistema orgánico, con un periodo de aplicación de entre 4 y 10 años (el promedio de años de haber dejado la aplicación de plaguicidas y fertilizantes sintéticos es de siete), todavía no se ha podido modificar una relación tan estable entre las variables del suelo como es la relación C/N.

Es muy importante tomar en cuenta que únicamente se presentan las concentraciones totales de C y N, lo cual solo indica una tendencia general de la disponibilidad de estos dos elementos; no indica su estado biológico y

dinámico entre las diferentes fracciones de la MO del suelo. Por lo tanto, no es posible hacer inferencias definitivas al comparar los dos sistemas. Mayores concentraciones de C no necesariamente indican una mayor disponibilidad de energía para la actividad biológica. Por ejemplo, el C y el N podrían estar protegidos en la fracción arcillosa (Feller 1994). Es necesario analizar en qué compartimiento funcional de la MO se encuentra ese C y los materiales nitrogenados asociados con él. En futuras etapas de la investigación se hará un fraccionamiento funcional de la MO del suelo, de acuerdo a la técnica granulométrica que considera cada fracción asociada a un componente de la textura del suelo. Dicha técnica separa la MO utilizando tamices en un lavado en agua y obtiene tres fracciones principales: a) fracción del tamaño de las arenas (>53-150 mm), también llamada fracción macro-orgánica; b) la fracción del tamaño de los limos (2-53 mm); y c) la fracción del tamaño de las arcillas (<2 mm) (Kouakoua 1998). Se analizará también la actividad respiratoria del suelo y la mineralización de la MO; buscando encontrar asociaciones que permitan inferir la conveniencia de mantener sistemas orgánicos de producción agroforestal para el manejo sostenible del suelo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En los sistemas orgánicos no se encontraron diferencias espaciales con respecto a los árboles de sombra; en los sistemas convencionales, las posicio-

nes de muestreo situadas a más de 2 m de los árboles resultaron con menores valores de C y N. Las áreas cercanas a los árboles presentaron valores similares para C y N en los dos sistemas, indicando que los árboles ejercieron una acción benéfica en los sistemas convencionales para contrarrestar los efectos negativos sobre las concentraciones de C y N que los agroquímicos, plaguicidas, etc., pudieran tener. La capa 0-5 cm fue la más adecuada para observar las diferencias entre sistemas.

- De los datos analizados se desprende como hipótesis, que las fincas orgánicas tuvieron más C en el suelo por la mayor producción de biomasa de las arvenses que son cortadas, por el uso de abonos orgánicos y en algunos casos, por una mayor densidad de sombra. En los sistemas convencionales los árboles elevaron la concentración de C en el suelo en un área circundante que puede llegar a representar 20 por ciento del área total en altas densidades de población de *E. poeppigiana* (625 árboles ha⁻¹).
- Aún es necesario estudiar en esa zona, los procesos de descomposición de la materia orgánica y la contribución de la descomposición de los residuos de raíces. También se propone utilizar técnicas de fraccionamiento de la materia orgánica del suelo para estudiar a detalle la distribución de las reservas de C entre las fracciones, la dinámica del N asociada con estas reservas, y la disponibilidad del C y N en esta materia orgánica para los procesos biológicos del suelo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Beer, J 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7: 103-114.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- Fassbender, HW 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 393 p.
- Feller, Ch 1994. La matiere organique dans les sols tropicaux a argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulometrique. Thesis Docteur es Sciences Naturelles. Strasbourg, France. Universite Louis Pasteur. 491 p.
- Fernández, C; Muschler, R 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. In Bertrand, B; Rapidel, B. Eds. Desafios de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica. CIRAD, IICA. p 69 - 96.
- Fliebbach, A; Mäder, P 2000. Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 757-768.
- Kouakoua, E 1998. La matiere organique et la stabilité structurale d'horizons de surface de sols ferralitiques argileux. Effect du mode de gestion des terres. Thesis Docteur. Universite Heinri Poincaré Nancy 1. 79 p.
- Lyngbaeck, A; Muschler, R; Sinclair, F 2001. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53:205-213.
- Reganold, J; Palmer, A; Lockhart, J; Mac Gregor, A 1993. Soil quality and financial performance of bio-dynamic and conventional farms in New Zealand. *Science* 260: 344-349.
- Six, J; Conant, RT; Paul, A; Paustian, K 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implication for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176.
- Somarriba, E; Beer, J; Muschler, R 2000. Problemas y soluciones metodológicas en la investigación agroforestal con café y cacao en CATIE. *Agroforestería en las Américas* 7(25): 27-32.
- Young, A 1999. *Agroforestry for soil management*. 2 ed Wallinford, UK. CAB International-ICRAF. 276 p.
- Vaast, P; Snoeck, D 1999. Hacia un manejo sostenible de la materia orgánica y de la fertilidad biológica de los suelos cafetaleros. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafios de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica. CIRAD, IICA. p.139 - 169.

Enriquecimiento de la fertilidad del suelo en condiciones de invernadero con especies usadas como abono verde¹

Alana das Chagas Ferreira Aguiar², Donald Kass³,
Pedro Salvador Jorge Mustonen⁴, Emanuel Gomes de Moura⁵

Palabras claves: *Cajanus cajan*; *Canavalia ensiformis*; fraccionamiento de fósforo; reciclaje de nutrientes; suelos volcánicos; *Tephrosia vogelii* y *Tithonia diversifolia*.

RESUMEN

El presente estudio fue realizado bajo condiciones de invernadero, en macetas de 2 dm³, para determinar la contribución de nutrientes de los residuos (abono verde) de las especies *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* o *Tephrosia vogelii*. Cuatro suelos de Costa Rica fueron utilizados: Andic Palehumult (Ultisol-Grecia), Acrudoxic Hydric Melanudand (Andisol), Plinthic Paleudult (Ultisol-San Isidro) y Oxyaquic Argiudoll (Mollisol). *T. diversifolia* produjo mayor cantidad de biomasa. En cuanto al nivel de N en la MS, *T. vogelii* se mostró superior en todos los suelos. El maíz produjo mayor cantidad de MS en el Ultisol-Grecia, cuando recibió los residuos de *C. ensiformis*, *C. cajan* o *T. vogelii*. Las especies usadas como abono verde no afectaron el fraccionamiento de P al final del experimento. *T. vogelii* y *C. ensiformis* se mostraron más promisorias, principalmente para el reciclaje de N, P y Ca. Para el K, *T. diversifolia* se mostró más promisorio. Para mejorar la disponibilidad de K y Mg en estos suelos se detectó que el cultivo de *T. diversifolia* resulta ser el más idóneo a corto plazo. Se debe dar preferencia a la combinación de abonos verdes con alta calidad de residuos con grande producción de biomasa, alcanzada por medio del aumento de la densidad de las especies en el campo.

INTRODUCCIÓN

En la nutrición mineral de las plantas, los tres mayores nutrientes esenciales (N, P y K) son generalmente suministrados de manera limitada por muchos suelos. Los agricultores están conscientes de los efectos severos del agotamiento de la fertilidad del suelo, pero algunas veces no utilizan fertilizantes en sus cultivos, porque estos

Fertility enrichment of soils with species used as green manures in a green house trial

ABSTRACT

A study was carried out in a greenhouse, using 2 dm³ pots, to determine the nutrient contribution from the residues (green manure) of *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* and *Tephrosia vogelii*. Four Costa Rican soils were used: Andic Palehumult (Ultisol-Grecia), Acrudoxic Hydric Melanudand (Andisol), Plinthic Paleudult (Ultisol-San Isidro) and Oxyaquic Argiudoll (Mollisol). *T. diversifolia* produced the greatest amount of biomass. With respect to N concentrations, *T. vogelii* was superior in all soils. Maize produced the greatest amount of dry matter in the Ultisol-Grecia, mulched with the residues of *C. ensiformis*, *C. cajan* or *T. vogelii*. There was no effect on P fractions when green manures were compared at the end of the experiment. *T. vogelii* and *C. ensiformis* were most promising, mainly due to their ability to recycle of N, P and Ca. For K, *T. diversifolia* was the most promising species. In the short term, *T. diversifolia* would appear to be most suitable to improve the availability of K and Mg in these soils. Preference should be given to a combination of green manures with high nutrient concentration and biomass productivity, possibly by manipulating species densities in the field.

son frecuentemente escasos y costosos. Sin embargo, los fertilizantes químicos no son la única respuesta para esta inquietud; hay otros medios para lograr el incremento o mantenimiento de la fertilidad del suelo y una productividad sostenible de los cultivos en fincas de pequeños productores (Defoer *et al* 2000).

¹ Basado en Aguiar, ACF. 2001. Efecto de especies usadas como abono verde en el enriquecimiento de la fertilidad del suelo y en el manejo de plagas. Tesis M Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica

² M.Sc en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001 E-mail: alanaaguiar@elo.com.br (autora para correspondencia)

³ Ph.D., Profesor Consejero Investigador USDA E-mail: dcl9@hotmail.com

⁴ Estudiante de Doctorado en Agroforestería Tropical. CATIE. E-mail: pjorge@catie.ac.cr

⁵ Ph. D., Profesor Universidad Estatal de Maranhao, Brasil E-mail: egmoura@elo.com.br

Según Ae *et al* (1990), Otani y Ae (1996) y Otani *et al* (1996), la identificación de plantas con alta habilidad para la absorción de fracciones de P consideradas no disponibles, como aquellas ligadas al Fe y Al, puede aumentar la eficiencia del manejo de P en el suelo. Adicionalmente, los ácidos orgánicos producidos durante la descomposición de materiales vegetales adicionados al suelo, pueden competir con los aniones de P por puntos de adsorción existentes en el suelo, por lo que se presume que éstos aumentarían su disponibilidad en la solución del suelo (Hernández *et al* 1986).

Sin embargo, el uso de estas especies para favorecer los cultivos subsecuentes, debe ser precedida de pruebas que demuestren su eficiencia en aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El objetivo de este estudio fue desarrollar tecnologías para aumentar la disponibilidad de nutrientes en sus formas asimilables, en especial del P, a través de la incorporación de los residuos de las especies *Cajanus cajan*, *Tithonia diversifolia*, *Canavalia ensiformis* o *Tephrosia vogelii*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado bajo condiciones de invernadero en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica (9°52'N y 83°38'O y 640 msnm). Las medias climáticas anuales son: 22°C de temperatura, 2479 mm de precipitación, 87% HR y 11,82 $\mu\text{J m}^{-2}$ de radiación.

Las especies *C. cajan*, *T. diversifolia*, *T. vogelii* y *C. ensiformis* fueron seleccionadas debido a su potencial para el reciclaje de nutrientes y como abonos verdes. Cuatro suelos de Costa Rica fueron utilizados: Andic Palehumult - Ultisol (Cantón Grecia, Provincia de Alajuela), Acrudoxic Hydric Melanudand - Andisol (localidad de Orieta, Cantón Turrialba, Provincia de Cartago), Plinthic Paleudult - Ultisol (Cantón San Isidro, Provincia de Heredia) y Oxyaquic Argiudoll - Molisol (localidad de El Guayabo, Turrialba) (Soil Survey Staff 1999).

Las especies *C. cajan*, *T. vogelii* y *C. ensiformis* fueron sembradas por semillas, con cuatro plantas por maceta de 2 dm³. Para *T. diversifolia* se utilizaron tres estacas por maceta. Una muestra de tres estacas fue secada y pesada, para saber cuánto estaba aportando en términos de MS cuando la especie fue sembrada. A los 60 días de la germinación se cortaron y secaron las plantas en una estufa a 65°C de circulación forzada, considerando

solamente su parte aérea. Luego, esta MS fue incorporada a cada uno de los mismos suelos y después de 60 días de incubación, se sembró maíz, utilizando 10 plantas por maceta, las cuales fueron cosechadas a los 45 días después de la germinación, para la determinación de la MS producida (biomasa aérea).

Se analizaron los suelos y los follajes (N, P, K, Ca y Mg) de las especies de abono verde y del maíz. El muestreo de los suelos fue realizado dos veces, antes de la siembra de las especies usadas como abono verde y después de la cosecha del maíz. Fueron analizados: P, K, Ca, Mg, acidez, materia orgánica (MO), pH del agua y el fraccionamiento del P, según Hedley *et al* (1982) modificado, para adecuarlo a las condiciones estudiadas. De la combinación de las cuatro especies usadas como abono verde y los cuatro suelos se evaluaron 16 tratamientos en el estudio. Se usó un diseño bloques completos al azar, con arreglo factorial 4 x 4 y ocho repeticiones.



Corte de las leguminosas, para posterior incorporación de la materia seca en los suelos del experimento en un invernadero del CATIE, Turrialba, Costa Rica Foto: Alex López

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa producida por las especies usadas como abono verde

T. diversifolia mostró ser la especie que produjo mayor cantidad de biomasa (Cuadro 1) y la de mayor respuesta a la fertilidad del suelo. Por otro lado, *C. ensiformis* fue la segunda más productiva y presentó una producción prácticamente similar en todos los suelos, confirmando su alta plasticidad, resultante de su gran adaptabilidad a las condiciones edáficas contrastantes. La producción de MS

Cuadro 1. Materia seca (g planta⁻¹) producida por cuatro abonos verdes en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Suelos	Especies			
	<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
Ultisol-Grecia	13,50 b	17,38 b	38,62 b	48,62 ab
Molisol-Guayabo	11,75 b	15,38 b	40,62 b	76,49 a
Ultisol-San Isidro	10,38 b	12,50 b	41,88 b	55,12 ab
Andisol-Orieta	10,88 b	13,38 b	36,12 b	42,12 b

* Medias seguidas de la misma letra en una columna no difieren entre sí (p<0,05), según la prueba de Tukey.

de *C. cajan* y *T. vogelii* fue mucho menor con relación a *C. ensiformis* y *T. diversifolia*, también sin mucha variación entre tipos de suelo. Estos resultados, junto con aquellos relativos a la calidad de los residuos pueden ser importantes en la definición de la especie para un sistema donde el reciclaje de nutrientes sea el foco principal en el manejo del suelo.

Extracción de nutrientes por las especies usadas como abono verde

T. vogelii, la especie que tuvo mayores concentraciones de nutrientes, con la excepción del Mg, en su biomasa (Cuadro 2), produce menos cantidad de biomasa que las otras especies estudiadas (Cuadro 1). Sin embargo, esta alta concentración de nutrientes sugiere gran potencialidad para el reciclaje, si las condiciones de producción de biomasa en el campo son perfeccionadas mediante prácticas como cultivos más densos y podas controladas. Con ex-

cepción del K, las concentraciones de nutrientes en la biomasa de *T. diversifolia* en este estudio no respaldan las afirmaciones de que esta especie tiene una alta capacidad de extraer nutrientes (especialmente P) y dar un abono rico en nutrimentos (Cuadro 2). Sin embargo, el valor de un abono verde se califica por la reincorporación total de nutrientes al suelo (biomasa por concentración).

La gran estabilidad de *C. ensiformis* para producir MS en las diversas condiciones de fertilidad del suelo, se manifestó también por las concentraciones poco variables de N producidas en todos los suelos (Cuadro 2). La fuente mayor de variación en concentraciones de N fue explicada por el efecto de las especies. *C. ensiformis* mostró ser superior en relación a la cantidad de P acumulado (g planta⁻¹), excepto en relación a *T. diversifolia*. La variación del P en la biomasa fue explicada tanto por el efecto de especies, como de suelos, siendo *T. vogelii* la

Cuadro 2. Contenido de nutrientes (% de MS) en cuatro especies usadas como abono verde en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Nutrientes (%)	Tipos de suelos	Especies			
		<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
N	Ultisol-Grecia	3,49 Aa*	2,55 B a	1,78 C a	1,11 D a
	Molisol-Guayabo	3,44 A a	2,24 B a	1,90 B a	0,68 C b
	Ultisol-San Isidro	2,58 A a	1,95 AB a	1,52 BC a	0,99 C ab
	Andisol-Orieta	3,27 A a	2,12B a	1,54 C a	0,85 D ab
P	Ultisol-Grecia	0,27 A a	0,16 B a	0,14 BC a	0,08 C a
	Molisol-Guayabo	0,17 A b	0,11 B ab	0,08 BC b	0,05 C a
	Ultisol-San Isidro	0,09 A c	0,07 AB b	0,06 B b	0,05 B a
	Andisol-Orieta	0,12 A bc	0,08 AB b	0,09 AB b	0,05 B a
K	Ultisol-Grecia	2,07 A ab	0,97 A a	0,86 A a	1,79 A a
	Molisol-Guayabo	0,92 A b	0,82 A a	0,49 A c	1,07 A a
	Ultisol-San Isidro	2,87 A a	0,98 B a	0,68 B b	1,48 AB a
	Andisol-Orieta	1,23 A ab	0,87 B a	0,58 C c	1,06 AB a
Ca	Ultisol-Grecia	1,93 A a	1,05 B a	2,02 A a	0,47 C a
	Molisol- Guayabo	1,68 A ab	1,37 AB a	1,21 B bc	0,47 C a
	Ultisol-San Isidro	1,35 A b	1,32 A a	1,34 A b	0,53 B a
	Andisol-Orieta	1,38 A b	1,15 B a	1,08 B c	0,46 C a
Mg	Ultisol-Grecia	0,27 A b	0,17 B b	0,27 A b	0,24 A a
	Molisol- Guayabo	0,43 A a	0,31 B a	0,42 A a	0,27 B a
	Ultisol-San Isidro	0,17 A c	0,16 A b	0,20 A bc	0,24 A a
	Andisol-Orieta	0,19 A c	0,16 A b	0,15 A c	0,22 A a

* Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente) y letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente). Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí (p<0,05), según la prueba de Tukey.

que presentó mayor contenido de P en su biomasa, cuando fue sembrada en el Ultisol-Grecia (0,27%). *C. ensiformis* mostró mayor eficiencia en el reciclaje de Ca al considerar conjuntamente las concentraciones del elemento y la cantidad de MS producida. Con relación al Mg, destacó *T. diversifolia*, ya que logró absorber niveles satisfactorios en los suelos Ultisol-San Isidro y Andisol-Orieta, especialmente cuando se considera también la cantidad de MS producida por esta especie.

Las concentraciones de N y P en la biomasa del maíz (Cuadro 4) no alcanzaron los niveles adecuados que este cultivo demanda, que son 3,5 a 5,0% para el N y 0,3 a 0,5% para el P, respectivamente (Bertsch 1995). Las especies usadas como abono verde en el estudio, no tuvieron suficiente impacto en incrementar y/o mantener por sí mismas la fertilidad de los suelos, en relación a estos dos nutrientes. En el caso del K, *T. diversifolia* proporcionó un nivel adecuado para el maíz

Cuadro 3. Materia seca de maíz (g planta⁻¹) producida con abonos verdes en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Suelos	Especies			
	<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
Ultisol-Grecia	28,00 a*	30,00 a	30,25 a	23,75 ab
Molisol-Guayabo	24,50 a	25,00 a	26,25 a	27,00 a
Ultisol-San Isidro	21,50 b	19,50 b	20,75 b	21,00 b
Andisol-Orieta	20,00 b	20,50 b	20,25 b	22,50 b

* Medias seguidas de la misma letra, por columna, no difieren entre sí ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Producción de biomasa y niveles de nutrientes en el maíz

Las mayores producciones de biomasa en MS por el maíz fueron alcanzadas en los suelos Ultisoles de Grecia (Cuadro 3), cuando recibieron los residuos de *C. ensiformis*, *C. cajan* o *T. vogelii*. En cambio, en los otros suelos no hubo diferencias entre abonos verdes a pesar de que la cantidad de biomasa fue mayor para *C. ensiformis* y *T. diversifolia*.

mostrando mayor eficiencia para suplir este elemento a través de su biomasa. En cuanto a los niveles de Ca y Mg, se encontraron contenidos adecuados en la biomasa de maíz (Cuadro 4), pero para Mg fue significativamente más bajo con el uso de *T. diversifolia*. Con excepción de K, las concentraciones de los nutrientes en maíz producido en los Ultisoles fueron generalmente más bajas.

Cuadro 4. Contenido de nutrientes (%MS) en el maíz producido con cuatro especies usadas como abono verde en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Nutrientes (%)	Tipos de suelos	Especies			
		<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
N	Ultisol-Grecia	0,99 A b*	1,04 A ab	1,06 A a	1,03 A a
	Molisol-Guayabo	1,34 A a	1,15 A a	1,40 A a	1,31 A a
	Ultisol-San Isidro	0,90 B b	0,95 AB b	1,22 AB a	1,31 A a
	Andisol-Orieta	1,25 A a	1,12 A a	1,26 A a	1,12 A a
P	Ultisol-Grecia	0,17 AB a	0,16 B a	0,18 A a	0,18 A a
	Molisol-Guayabo	0,10 A b	0,10 A b	0,09 A b	0,09 A b
	Ultisol-San Isidro	0,08 A b	0,08 A b	0,08 A b	0,08 A b
	Andisol-Orieta	0,09 A b	0,08 A b	0,08 A b	0,08 A b
K	Ultisol-Grecia	1,37 B a	1,26 B ab	1,35 B a	3,47 A b
	Molisol-Guayabo	0,55 B b	0,67 B c	0,61 B b	3,19 A b
	Ultisol-San Isidro	1,11 B a	1,31 B a	1,65 B a	4,10 A a
	Andisol-Orieta	0,46 B b	0,71 B bc	0,70 B b	3,85 A ab
Ca	Ultisol-Grecia	0,63 A b	0,58 A b	0,62 A b	0,66 A a
	Molisol-Guayabo	0,74 AB ab	0,71 AB ab	0,85 A a	0,60 B ab
	Ultisol-San Isidro	0,63 A b	0,72 A a	0,73 A ab	0,67 A a
	Andisol-Orieta	0,84 A a	0,77 A a	0,82 A ab	0,50 B b
Mg	Ultisol-Grecia	0,44 A c	0,42 A c	0,47 A b	0,28 B b
	Molisol-Guayabo	0,85 AB a	0,75 B a	0,86 A a	0,42 C a
	Ultisol-San Isidro	0,44 A c	0,44 A c	0,46 A b	0,27 B b
	Andisol-Orieta	0,68 A b	0,57 A b	0,66 A ab	0,29 B b

*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente) y letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente). Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($p < 0,05$), según la prueba de Tukey.

Efecto de los tratamientos sobre la disponibilidad de nutrientes en los suelos

El Ultisol-Grecia tuvo un nivel de P aproximadamente 10 veces mayor que el promedio de los otros tres suelos (Cuadro 5). En el caso del K y Mg, se detectó un incremento significativo en su contenido en todos los suelos cuando se les adicionó la biomasa de *T. diversifolia*. La

biomasa de esta especie es reconocida por suplir efectivamente la demanda de K, aumentando el rendimiento del cultivo (Jama *et al* 2000). Hay que considerar que podría haberse registrado una disminución de los nutrientes en las formas disponibles, debido a que parte de estos nutrientes pudieron ser tomados por el maíz (Cuadro 4).

Cuadro 5. Análisis químico de los suelos, después de la cosecha del maíz, utilizados en el estudio de cuatro abonos verdes en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Nutrientes (%)	Tipos de suelos	Especies			
		<i>Tephrosia vogelii</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
P (mg l ⁻¹)	Ultisol-Grecia	22,45 A a*	21,00 A a	19,20 A a	21,00 A a
	Molisol-Guayabo	2,62 B bc	2,42 B b	3,12 A b	3,22 A b
	Ultisol-San Isidro	3,58 A b	3,12 A b	3,30 A b	3,55 A b
	Andisol-Orieta	1,35 A c	1,22 A b	1,62 A b	1,80 A b
K (cmol(+)l ⁻¹)	Ultisol-Grecia	0,05 B a	0,06 B a	0,06 B a	0,27 A a
	Molisol-Guayabo	0,06 B a	0,06 B a	0,07 B a	0,15 A a
	Ultisol-San Isidro	0,03 B b	0,03 B b	0,05 B b	0,38 A a
	Andisol-Orieta	0,04 B ab	0,04 B ab	0,06 B a	0,28 A a
Ca (cmol(+)l ⁻¹)	Ultisol-Grecia	4,89 A b	4,88 A b	4,77 A b	4,69 A b
	Molisol-Guayabo	15,67 A a	14,72 A a	15,42 A a	15,12 A a
	Ultisol-San Isidro	2,18 A c	2,12 A c	2,25 A c	2,24 A c
	Andisol-Orieta	1,49 C c	1,74 B c	1,81 A c	1,71 B c
Mg (cmol(+)l ⁻¹)	Ultisol-Grecia	0,70 B b	0,63 B b	0,72 B b	1,02 A b
	Molisol-Guayabo	6,97 A a	6,40 A a	6,70 A a	7,00 A a
	Ultisol-San Isidro	0,32 B b	0,24 B b	0,43 B b	0,64 A b
	Andisol-Orieta	0,20 C b	0,32 B b	0,38 B b	0,74 A b

*Letras mayúsculas se refieren a las diferencias entre las especies usadas como abono verde (leer horizontalmente) y letras minúsculas se refieren a las diferencias entre los suelos (leer verticalmente). Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí (p<0,05), según la prueba de Tukey.

Efecto de los tratamientos en las fracciones del P

Los suelos Ultisol-Grecia y Molisol-Guayabo presentaron niveles satisfactorios del Pi lábil (Cuadro 6). En los suelos Andisol-Orieta y Ultisol-San Isidro, aún sumando estas dos fracciones de P fácilmente disponible, no cumpliría en la demanda del P para el cultivo, a pesar de las adiciones de los abonos verdes. El contenido de Po en la fracción NaHCO₃ en el Andisol-Orieta fue supe-

rior a todos los otros suelos (seis veces mayor que el Ultisol-San Isidro). En los suelos Andisol-Orieta y Ultisol-San Isidro, las fracciones orgánicas (Po) se presentaron superiores dos a tres veces en comparación con su fracción inorgánica. Esto indica la importancia de esta fuente de P para los microorganismos del suelo, especialmente cuando el Pi lábil es bajo, como es el caso de estos suelos.

Cuadro 6. Resultados del fraccionamiento del P al final del estudio de abonos verdes en un invernadero en Turrialba, Costa Rica.

Fracciones de P (mg kg ⁻¹)	Suelos			
	Ultisol-Grecia	Molisol-Guayabo	Andisol-Orieta	Ultisol-San Isidro
Pi resina	18,52 a*	7,72 b	0,65 c	0,42 c
Pi NaHCO ₃	100,38 a	11,85 b	9,58 b	4,58 c
Po NaHCO ₃	38,90 b	46,72 b	81,15 a	13,78 c
Pi NaOH	498,75 a	87,88 c	320,25 b	56,15 d
Po NaOH	231,50 b	206,25 b	969,00 a	114,00 c
Pi HCl	23,32 b	32,92 b	139,50 a	0,95 c
P residual	468,00 c	657,25 b	823,50 a	232,25 d
Suma Fracciones	1379,37	1050,59	2343,63	422,13

*Medias seguidas de la misma letra en una línea no difieren entre sí (p<0,05), según la prueba de Tukey.

El Andisol-Orieta fue el suelo que presentó el mayor nivel de P ligado a calcio (Cuadro 6). Esto puede ser debido a su característica de gran retención de P. Se observó que más del 85% del contenido total del P está en las fracciones indisponibles de P (por lo menos a corto plazo), lo que lleva a considerar estas fracciones como muy importantes en este estudio.

Las especies usadas como abono verde no dejaron efecto significativo en las fracciones de P. La razón podría haber sido el periodo corto de crecimiento y de incubación, insuficientes para proporcionar cambios representativos en las fracciones de P.

CONCLUSIONES

- *Tephrosia vogelii* y *Canavalia ensiformis* fueron las especies más promisorias en este estudio, principalmente para el reciclaje de N, P y Ca, mientras que para el K, *T. diversifolia* se mostró más eficiente.
- Para mejorar la disponibilidad del P en estos suelos, se detectó que el cultivo de leguminosas con alta calidad de residuos como *T. vogelii* resultan ser los más idóneos a corto plazo.
- Para mayor eficiencia del sistema, se debe dar preferencia a la combinación de abonos verdes con alta calidad de residuos y con grande producción de MS, alcanzada por medio del aumento de la densidad de las especies en el campo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Ae, N; Arihara, J; Okada, K; Yoshihara, T; Johansen, C 1990 Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian Subcontinent. *Science* 248: 477-480
- Bertsch, F 1995 La fertilidad de los suelos y su manejo San José, CR 157 p
- Defoer, T; Budelman, A; Toulmin, C; Carter, SE 2000. Building common knowledge. Participatory learning and action research (Part 1). In Defoer, T; Budelman, A (eds). *Managing soil fertility in the tropics. A Resource Guide for participatory learning and action research*. Amsterdam, The Netherlands: Royal Tropical Institute. 208 p
- Hedley, MJ; Stewart, JWB; Chauhan, BS 1982 Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Am. J.* 46: 970-976
- Hernández, DL; Siegert, G; Rodríguez, JV 1986 Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1460-1462
- Jama, B; Palm, CA; Buresh, RJ; Niang, A; Gachengo, C; Nziguhaba, G; Amadalo, B 2000 *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. *Agroforestry Systems* 49: 201-221.
- Otani, T; Ae, N 1996 Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. I. Screening of crops for efficient P uptake. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42(1): 155-163.
- Otani, T; Ae, N; Tanaka, H 1996 Phosphorus (P) uptake mechanisms of crops grown in soils with low P status. II. Significance of organic acids in root exudates of pigeonpea. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42(3): 553-560
- Soil Survey Staff 1999. *Keys to Soil Taxonomy* 8 ed Blacksburg, EUA, 600 p

Manejo de rastrojos enriquecidos con especies leguminosas en fincas de productores Ngöbes de la Cuenca del Río San Félix, Panamá¹

Tomás Moreno²; Andrea Schlönvoigt³

Palabras claves: Abono verde; agricultura de laderas; barbechos mejorados; Comarca Ngöbe-Buglé; investigación participativa; producción de biomasa.

RESUMEN

Se evaluó el potencial de diferentes especies leguminosas en sistemas de barbechos mejorados en la Cuenca Media-Baja del Río San Félix, Panamá. *Canavalia ensiformis* presentó la mayor sobrevivencia a un mes de ser plantado (93%), seguido de *Mucuna pruriens* (83%), *Pueraria phaseoloides* (54%) y *Cajanus cajan* (51%). *M. pruriens* presentó mayor cobertura (58%), seguido de *C. ensiformis* (14%), *C. cajan* (1%) y *P. phaseoloides* (<1%). *M. pruriens* también presentó la mayor producción de biomasa fresca (4,4 t ha⁻¹), seguida de *C. ensiformis* (2,2 t ha⁻¹), *C. cajan* (0,1 t ha⁻¹) y *P. phaseoloides* (0,1 t ha⁻¹). Los barbechos con *C. ensiformis* y *M. pruriens* presentaron las mayores producciones de biomasa fresca total (17,2 y 15,3 t ha⁻¹, respectivamente). *C. cajan* presentó la mayor concentración de N en su biomasa (2,7%), seguido de *M. pruriens* (2,6%), *C. ensiformis* (2,4%) y *P. phaseoloides* (2,0%). Sin embargo, tomando en cuenta la producción de biomasa, *M. pruriens* acumuló la mayor cantidad de N (19,2 kg ha⁻¹), seguido de *C. ensiformis* (10,6 kg ha⁻¹), *C. cajan* (0,8 kg ha⁻¹) y *P. phaseoloides* (0,2 kg ha⁻¹) a tres meses de edad. Todos los productores participantes mostraron preferencia por *M. pruriens* como especie con mayor potencial para ser utilizada en barbechos mejorados en la zona (65% de aceptabilidad por parte de los productores).

INTRODUCCIÓN

La topografía de laderas y la baja fertilidad de los suelos son grandes limitantes para el desarrollo agrícola en la Cuenca del Río San Félix, Panamá. Sin embargo, la agricultura tradicional de tumba y quema se practica de manera generalizada, ya que está muy arraigada a la cultura Ngöbe. En la actualidad este sistema de producción no es sos-

Management of fallows enriched with leguminous species on farms of Ngöbe farmers in the watershed of San Félix River, Panamá

ABSTRACT

The potential of different leguminous plant species as cover crops to improve fallow systems was evaluated in the central low watershed of the San Felix River, Panama. *Canavalia ensiformis* had the highest survival (93%), followed by *Mucuna pruriens* (83%), *Pueraria phaseoloides* (54%) and *Cajanus cajan* (51%). *M. pruriens* gave the highest ground cover (58%), followed by *C. ensiformis* (14%), *C. cajan* (1%) and *P. phaseoloides* (<1%). *M. pruriens* also produced the highest amount of fresh biomass (4.44 t ha⁻¹), followed by *C. ensiformis* (2.17 t ha⁻¹), *C. cajan* (0.13 t ha⁻¹) and *P. phaseoloides* (0.06 t ha⁻¹). The fallow treatment with *C. ensiformis* had the highest total biomass production (17.2 t ha⁻¹), followed by *M. pruriens* (15.3 t ha⁻¹). *C. cajan* had the highest N concentration in its biomass (2.7%), followed by *M. pruriens* (2.6%), *C. ensiformis* (2.4%) and *P. phaseoloides* (2.0%). However, taking into account biomass production, *M. pruriens* accumulated the highest amount of N (19.2 kg ha⁻¹), followed by *C. ensiformis* (10.6 kg ha⁻¹), *C. cajan* (0.8 kg ha⁻¹) and *P. phaseoloides* (0.2 kg ha⁻¹) at age three months. All the farmers who participated in this study preferred *M. pruriens* as the best potential species to improve fallows in the study region (probability of acceptability of 65%).

tenible, puesto que la presión demográfica ha hecho de la tierra un factor limitante y se ha reducido el periodo de recuperación del suelo por la regeneración natural. La situación se agudiza con las constantes quemadas de la vegetación remanente durante la estación seca, lo cual aumenta la vulnerabilidad de los suelos a la erosión (Mercado *et al* 1994).

¹ Basado en: Moreno, T. 2001. Evaluación de especies leguminosas y manejo de rastrojos en fincas de productores Ngöbes de la Cuenca del Río San Félix, Panamá. Tesis M Sc, CATIE, Turrialba, Costa Rica

² M Sc en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001. E-mail: tmoreno2002@yahoo.com (autor para correspondencia)

³ Ph D., Profesora Consejera, GFA Terra Systems, Hamburgo, Alemania. E-mail: andrea_schlonvoigt@yahoo.de

Entre las posibles alternativas está el desarrollo de tecnologías que intensifiquen el uso de la tierra de manera sostenible, como el uso de barbechos mejorados. Muchos estudios han sido realizados para conocer el potencial de diversas especies de plantas, principalmente leguminosas, para mejorar la fertilidad del suelo (Alegre *et al* 2000). Sin embargo, es indispensable determinar qué especie es la más adecuada para determinadas condiciones ambientales (Kass y Staver 2000). Por otro lado, para que una nueva tecnología tenga un impacto positivo en determinada región, aparte de conocer el entorno biofísico apropiado, es necesario considerar aspectos sociales, económicos y culturales de la población local (Bunch 1985).

El estudio se desarrolló con los siguientes objetivos: a) evaluar, conjuntamente con productores locales, el potencial de diferentes especies leguminosas, como abono verde, en sistemas de tumba y quema en la Cuenca Media-Baja del Río San Félix; y b) determinar los factores que puedan influir en la adopción de barbechos mejorados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue realizado entre los meses de marzo y agosto del 2001, conjuntamente con agricultores Ngöbes quienes se dedican principalmente a las actividades agrícolas, mediante el método tradicional de tumba y quema (Samaniego y Montezuma 1995) en la Cuenca Media-Baja del Río San Félix, Comarca Ngöbe-Buglé, Panamá (08°18'a 08°38' N y 82°00'a 81°45' O). En esta zona predominan laderas con suelos ácidos, parcialmente erosionados y de muy baja productividad. El clima es tropical húmedo, con temperaturas que varían según la altura y lluvias superiores a los 2500 mm anuales. La estación lluviosa dura entre ocho y nueve meses (abril – mayo/diciembre) (Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" 1988). La mayor parte del área está cubierta por rastrojos (regeneración natural temprana en terrenos agrícolas) de diferentes edades, los cuales cada tres a cinco años son utilizados para la producción de granos básicos como arroz, frijol y maíz.

Se establecieron parcelas experimentales en siete sitios (siete fincas) en terrenos agrícolas manejados rotativamente, según el método tradicional, y dejados en "descanso" (barbecho) a partir del 2001. La asignación de los tratamientos (barbecho mejorado y tipo de preparación del terreno) a las diferentes unidades experimentales se hizo bajo un diseño experimental de parcelas divididas en bloques completos al azar. La preparación del terreno, previo a la siembra de las leguminosas,

constaba de tres niveles (factor principal A): barbecho inicial, corte-cobertura y corte-quema. En el primer nivel, la siembra se hizo sin la eliminación del barbecho natural existente (de aproximadamente 12,4 t ha⁻¹ de materia fresca); en el segundo, el barbecho fue cortado y distribuido en el terreno antes de la siembra de la leguminosa; y en el tercero, el barbecho fue cortado y quemado antes de la siembra. La especie de leguminosa constaba de cinco niveles (factor secundario B asignado a las sub-parcelas): *C. ensiformis* (canavalia), *C. cajan* (guandú), *P. phaseoloides* (kudzú), *M. pruriens* (mucuna) y control (sin leguminosas). Cada subparcela ocupaba un área de 36 m² (6 x 6 m) y estaban separadas entre sí por una franja de un metro de ancho, la cual se mantuvo sin vegetación (mediante chapias frecuentes) durante el periodo del estudio. El espaciamiento de siembra fue de 0,5 x 0,5 m, para un total de 169 puntos de siembra por cada subparcela. La cantidad de semillas dependió de su porcentaje de germinación. En *C. ensiformis* y *M. pruriens* se sembraron dos semillas por punto, cuatro en *C. cajan* y seis en *P. phaseoloides*. Después de la siembra no se aplicó manejo agronómico alguno a las parcelas.

Un mes después de la siembra, se midieron las variables sobrevivencia y crecimiento de la leguminosa. Ésta última sólo se evaluó en una finca, para obtener un indicador, ya que a simple vista se observaba un comportamiento similar en los demás sitios. Tres meses después de la siembra se midieron las variables cobertura, biomasa fresca de leguminosa y biomasa fresca total (barbecho natural + leguminosa). El área útil de muestreo por subparcela fue de 16 m² (4 x 4 m), ya que se dejó sin muestrear una franja de un metro de ancho por cada lado, para minimizar el efecto de borde. Aleatoriamente se sacaron cinco muestras de 0,5 m² por subparcela, utilizando un marco cuadrado de plástico. Posteriormente, se cuantificó el contenido de N en muestras de cada una de las especies leguminosas, a partir del cual se estimó la acumulación total de N por las leguminosas. Para este fin sólo se consideraron dos fincas.

Al final del ensayo, se hizo una evaluación con los productores participantes, quienes plantearon una propuesta para la utilización de leguminosas en barbechos mejorados bajo las condiciones locales. Esta propuesta fue sometida a un análisis de aceptabilidad inicial, basado en las calificaciones (1-5) y pesos (0-1) asignados a sus atributos (superioridad, factibilidad, simplicidad, compatibilidad y observabilidad) por los participantes, comparando los barbechos mejorados con los barbechos naturales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La preparación del terreno y la especie de leguminosa afectaron significativamente ($p < 0,0001$ para ambos casos) la sobrevivencia temprana (1 mes) de las leguminosas (Figura 1a). Todas las especies mostraron mayor sobrevivencia entre más limpio fue el terreno al inicio del experimento (corte-quema > corte-cobertura > barbecho natural); el efecto de la interacción no fue significativo ($p = 0,1216$). *C. ensiformis* presentó el mayor porcentaje de sobrevivencia un mes después de la siembra en todas las preparaciones, seguido por *M. pruriens*. Estas especies germinaron mucho más rápido y su crecimiento inicial fue superior al de *C. cajan* y *P. phaseoloides* (Figura 1b), lo que les permitió tomar ventaja y resistir mejor la competencia con el barbecho natural existente y en regeneración.

Debido a su hábito de crecimiento, *M. pruriens* tiende a tener tallos más prolongados, apoyándose en la vegetación existente, por lo que en la preparación del terreno con barbecho inicial, la tendencia del crecimiento en longitud fue mayor. En cambio *C. ensiformis* presenta un hábito de crecimiento más arbustivo, por lo que su capacidad para crecer encima de otras plantas es limitada. *C. cajan* tiene un crecimiento inicial lento tipo arbustivo (Beldt 1988), razón por la cual no pudo competir eficientemente con el barbecho natural. *P. phaseoloides* presentó un crecimiento inicial muy lento, de manera similar a estudios realizados en México por García *et al* (1994) y por Arias (1986), lo que dificulta su establecimiento (León 2000; Viera y Ramis 1995). Sin embargo, estudios realizados con productores en Perú, determinaron un alto potencial de *P. phaseoloides* para barbechos mejorados, debido a que presentó un crecimiento agresivo (Yanggen y Alegre 2000; Kass 1998).

La quema puede tanto afectar negativamente el suelo, como producir beneficios para las plantas a sembrar después (p.ej., P, K, Ca y Mg en la ceniza). Por otro lado, según Sánchez y Espinosa (1984), las quemas pueden matar o debilitar semillas o plantas del barbecho natural que en un momento dado pueden competir con las leguminosas.

La cobertura de las leguminosas fue afectada significativamente ($p < 0,0001$) por la preparación del terreno y por la especie (Figura 2a), pero no hubo interacción significativa entre los dos factores ($p = 0,1807$). Situación similar ocurrió con la biomasa de las leguminosas, ya que esta fue afectada significativamente por la preparación y por la especie ($p = 0,0002$ y $p < 0,0001$, respectivamente) (Figura 2b). *M. pruriens* presentó los mayores porcentajes de cobertura, seguido por *C. ensiformis*, aunque esta última fue muy inferior a la primera debido a que es de hábito más arbustivo y algo leñoso (León 2000; Buckles *et al* 1999). *C. cajan* y *P. phaseoloides* presentaron un crecimiento muy lento desde el principio, situación que se agravó con el desarrollo agresivo del barbecho natural.

La cobertura de las leguminosas y su producción de biomasa fue mayor bajo la preparación del terreno con corte-quema, probablemente por la disponibilidad de nutrientes en las cenizas y por la reducción parcial de la competencia con el barbecho natural. En las parcelas con corte-cobertura, el desarrollo del barbecho natural pudo haberse afectado parcialmente por la acumulación de material sobre el suelo; sin embargo, en la mayoría de los casos, el material producto de la vegetación inicial no fue abundante, por lo que la cobertura sobre el suelo

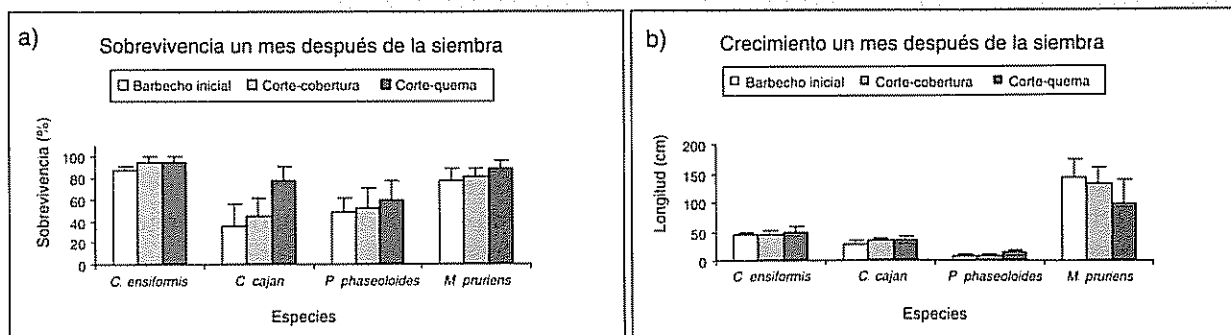


Figura 1. a) Sobrevivencia y b) crecimiento de cuatro especies de leguminosas (*Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan*, *Pueraria phaseoloides* y *Mucuna pruriens*) con tres preparaciones del terreno un mes después de la siembra. Cuenca del Río San Félix, Panamá. Las barras representan los valores promedios y las líneas verticales la desviación estándar.

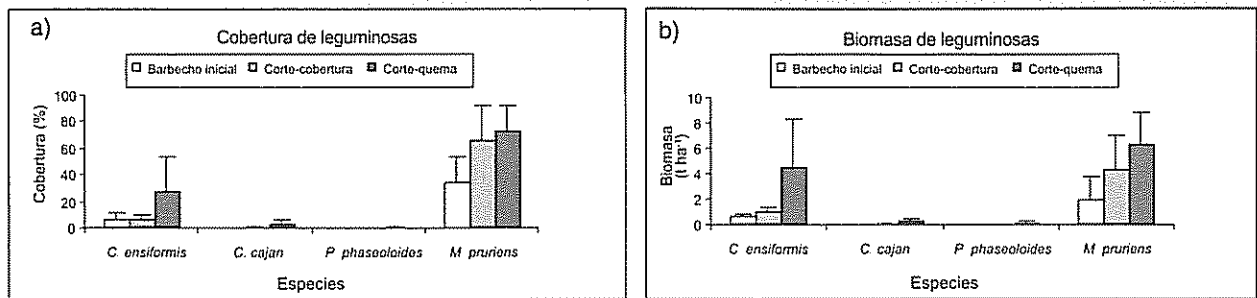


Figura 2. a) Cobertura y b) biomasa de cuatro leguminosas (*Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan*, *Pueraria phaseoloides* y *Mucuna pruriens*) en tres diferentes preparaciones del terreno. Las barras representan los valores promedios y las líneas verticales la desviación estándar. Cuenca del Río San Félix, Panamá.

no fue total. En el caso de no tocar el barbecho inicial, solo *M. pruriens* pudo desarrollarse parcialmente (gracias a sus largos tallos trepadores). Se consideró medir la cobertura de las leguminosas debido a que esta variable indica el grado de competencia en términos de espacio, lo que puede relacionarse con su capacidad para eliminar malezas en terrenos agrícolas (Melara y del Río 1994). Además, la cobertura contribuye a reducir los efectos de la erosión (Reining 1992; Forsythe *et al* 1994).

Al igual que la cobertura, la producción de biomasa de leguminosas fue mayor en *M. pruriens*. Ésta, produjo el doble de la biomasa producida por *C. ensiformis*, mientras que *C. cajan* y *P. phaseoloides* fueron muy inferiores. La superioridad de *M. pruriens*, en cuanto a cobertura y producción de biomasa con respecto a las otras especies de leguminosas, concuerda con estudios similares realizados en México por Gündel (1998) y por Haggar *et al* (2000), así como en Honduras por Buckles *et al* (1999).

La biomasa total (barbecho natural + leguminosa) no respondió a la preparación del terreno ($p = 0,1248$), pero sí fue mayor con la introducción de las leguminosas ($p = 0,0006$). También, la interacción entre los dos factores fue significativa ($p = 0,0254$). Los barbechos con *M. pruriens* y *C. ensiformis* fueron los más sobresalientes (15,3 y 17,2 t ha⁻¹, respectivamente), mientras que los barbechos con *C. cajan* y *P. phaseoloides* fueron similares estadísticamente al control (13,9, 13,3 y 13,6 t ha⁻¹, respectivamente) (Figura 3). *M. pruriens* y *C. ensiformis* representaron entre 16-45% y 7-30% de la biomasa total, respectivamente, mientras que *C. cajan* y *P. phaseoloides* presentaron cantidades de biomasa insignificantes, con relación a la biomasa total.

Si bien, los barbechos con *C. ensiformis* presentaron la mayor cantidad de biomasa total, la relación leguminosa - barbecho natural fue mayor en los barbechos con *M. pruriens*. Esta especie, al ser más agresiva en crecimiento que *C. ensiformis*, probablemente pudo afectar, en mayor grado, el crecimiento del barbecho natural. El aporte de las leguminosas (principalmente *C. ensiformis* y *M. pruriens*) contribuyó a que las parcelas que fueron alteradas al inicio del experimento (corte-quema y corte-cobertura), tuvieran una biomasa total similar a las parcelas que se mantuvieron con el barbecho inicial.

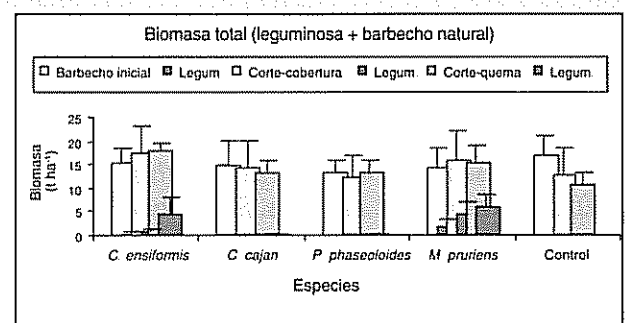


Figura 3. Biomasa total (leguminosa + barbecho natural) de los diferentes sistemas de barbecho (*Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan*, *Pueraria phaseoloides* y *Mucuna pruriens*). Cuenca del Río San Félix, Panamá. Las barras representan los valores promedios y las líneas verticales la desviación estándar.



Los productores involucrados en la investigación tuvieron una activa participación, lo que refleja un gran interés por conocer nuevas tecnologías encaminadas a mejorar la producción. Comarca Ngöbe-Buglé, Panamá. Foto: T. Moreno

El contenido de N en las muestras de leguminosas fue bastante alto (Cuadro 1), en comparación con el contenido de N reportado por Herrera y Meléndez (1997) para la mayoría de especies no leguminosas presentes en sistemas de frijol tapado en Costa Rica. Estos autores encontraron, en un total de doce especies no leguminosas, cantidades de N que oscilaron entre 0,8% en *Rottboellia cochinchinensis* (Poaceae) y 1,85% en *Ageratum conyzoides* (Asteraceae). Sólo *Tithonia diversifolia* y *Pseudobaccharis* spp. (ambas Asteraceae) tuvieron cantidades de N comparables a las leguminosas, con 2,57% y 2,05%, respectivamente. El sistema de frijol tapado practicado en Costa Rica es similar a la manera en que los Ngöbes cultivan maíz y frijol de postrera, los cuales son cosechados durante la estación seca.

La cantidad total de N ha⁻¹ acumulado por las leguminosas depende en gran medida de la cantidad de biomasa producida. En este estudio, aunque *M. pruriens* no presentó una mayor concentración de N en su biomasa, fue superior al resto de las especies en producción de biomasa, por lo que la acumulación de N ha⁻¹ fue mayor en los tratamientos con *M. pruriens*. Sin embargo, la canti-

dad de N ha⁻¹ fijado por *M. pruriens* en este estudio fue baja en comparación con otros estudios. García *et al* (1994) reportan cantidades de N en *M. pruriens* que alcanzan los 149 kg ha⁻¹año⁻¹ (4 - 5 t ha⁻¹año⁻¹ MS) y Buckles (1999) reporta 200 kg ha⁻¹año⁻¹ (5-10 t ha⁻¹ MS). En el caso del *P. phaseoloides*, Arias (1986) reporta una cantidad de N de 254 kg ha⁻¹año⁻¹. No obstante, hay que considerar que en los estudios citados las leguminosas no fueron sometidas a la competencia del barbecho natural en regeneración. Además, la producción de N determinada en el presente trabajo correspondió sólo a los tres primeros meses de crecimiento de las leguminosas.

En la evaluación final, los productores participantes propusieron la siembra de *M. pruriens* en áreas recientemente abandonadas mediante la técnica del voleo a inicios de la estación lluviosa, seguida del corte e incorporación de la vegetación remanente como cobertura muerta. Al someter esta propuesta a un análisis de aceptabilidad inicial, se obtuvieron valores bastante cercanos por parte del investigador y de los productores participantes (Cuadro 2).

Según el investigador, el uso de *M. pruriens* en barbechos mejorados es una tecnología fácil de aplicar, ya que no requiere de capacitaciones previas (simplicidad alta). No se requiere de grandes inversiones de recursos (alta factibilidad), salvo la disponibilidad de semillas, la cual inicialmente podría ser suministrada por extensionistas. No se tienen mayores riesgos relacionados al costo de oportunidad, como menciona Buckles *et al* (1999), ya que los terrenos a utilizar son áreas que entran en su periodo de descanso después de haber sido utilizadas con cultivos anuales. El tiempo requerido para ver resultados positivos se consideró corto (observabilidad alta), puesto que éste no debe ser mayor que el tiempo de descanso (como rastrojo natural), lo cual es bastante corto (3-4 años). Por otro lado, durante el tiempo del estudio (etapa de establecimiento del barbecho mejorado)

Cuadro 1. Biomasa y nitrógeno en cuatro especies leguminosas en sistemas de barbechos mejorados (promedios de dos fincas) en la Cuenca del Río San Félix, Panamá.

Especies	Biomasa fresca (t ha ⁻¹)	Biomasa seca		Contenido de N	
		(%)	(t ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)
<i>Mucuna pruriens</i>	4,40	16,8	0,74	2,6	19,2
<i>Canavalia ensiformis</i>	2,20	20,4	0,45	2,4	10,6
<i>Cajanus cajan</i>	0,13	22,4	0,03	2,7	0,80
<i>Pueraria phaseoloides</i>	0,06	21,7	0,01	2,0	0,20

Cuadro 2. Porcentaje de aceptación inicial del uso de *Mucuna pruriens* en barbechos mejorados en la Cuenca del Río San Félix, Panamá.

Atributos	Investigador			Productor ^a		
	Peso	Calificación	Valor	Peso	Calificación	Valor
Superioridad	0,8	3	2,4	0,9 (0,16) ^b	4,6 (0,73)	3,9
Compatibilidad	0,8	3	2,4	0,8 (0,26)	3,3 (1,58)	2,5
Simplicidad	1,0	4	4,0	0,8 (0,23)	4,8 (0,44)	3,9
Factibilidad	1,0	4	4,0	0,9 (0,17)	4,2 (0,83)	3,7
Observabilidad	0,9	5	4,5	0,6 (0,36)	3,6 (1,51)	2,1
Sumatoria de valores	17,3			16,2		
Probabilidad (%)	69			65		

^a Valores promedios de 9 productores.

^b Desviaciones estándar en paréntesis.

no se pueden evaluar todos los beneficios de la tecnología, principalmente con relación a los posibles incrementos en producción de los cultivos posteriores (superioridad mediana). Aunque algunos productores mencionan que ciertas especies de los rastrojos, como el balso (*Ochroma pyramidale*), guabo (*Inga spp.*) sangrillo (*Croton spp.*) y pica (*Mucuna spp.*), pueden mejorar la fertilidad del suelo en menor tiempo, tradicionalmente los Ngöbes manejan sus barbechos sin la incorporación de especies con este fin. Sin embargo, la forma en que podría manejarse *M. pruriens*, en sistemas de barbechos mejorados, tiene similitud con algunas prácticas tradicionales, como la siembra al voleo de maíz y frijoles (compatibilidad mediana).

Los productores participantes coincidieron con el investigador en los atributos simplicidad y factibilidad. Según ellos, se trata de una tecnología fácil de aplicar (alta simplicidad) y accesible a la mayoría de los productores (alta factibilidad), ya que se puede desarrollar con los recursos existentes y en las condiciones de la zona (terrenos que entran en su periodo de descanso y mano de obra familiar). Los productores resaltaron el crecimiento agresivo y la capacidad de desplazar malezas de *M. pruriens* (alta superioridad). Por otro lado, los productores manifestaron que se requiere esperar más tiempo para comprobar si efectivamente *M. pruriens* tiene efectos positivos en cultivos posteriores (observabilidad media), en comparación con los fertilizantes químicos (aunque éstos son poco utilizados en la zona). Los productores participantes manifestaron que se trata de una tecnología nueva, puesto que siempre han utilizado los rastrojos sin introducir especies para mejorarlos; sin embargo, mostraron interés en probar (compatibilidad media).

CONCLUSIONES

- Independientemente de la preparación del terreno, *M. pruriens* y *C. ensiformis* presentaron altos porcentajes de sobrevivencia, siendo mayor en *C. ensiformis*. Sin embargo, *M. pruriens* presentó mayor crecimiento desde el inicio, lo cual se mantuvo hasta el final del experimento. Por lo tanto, *M. pruriens* fue la especie con mayor potencial para ser utilizada en barbechos mejorados en la zona del estudio.
- Los barbechos mejorados con leguminosas, especialmente *M. pruriens*, podrían contribuir a reducir el tiempo de recuperación de los suelos en los sistemas de tumba y quema, debido principalmente a los aportes de N y materia orgánica acumulados.
- Todos los productores participantes mostraron preferencia por *M. pruriens* como especie potencial para ser utilizada en barbechos mejorados. Sin embargo, la aceptación inicial de esta tecnología se vio afectada parcialmente por aspectos culturales (relacionados con la compatibilidad) y por la necesidad de obtener resultados inmediatos (relacionado con la observabilidad). Tradicionalmente los agricultores Ngöbes no introducen, de manera intencional, especies en los rastrojos con el propósito de mejorar la fertilidad del suelo. Además, se requiere verificar si realmente hay beneficios en los cultivos posteriores, lo que requiere de evaluaciones adicionales.

AGRADECIMIENTO

El Proyecto Agroforestal Ngöbe, implementado por ANAM/GTZ, brindó el apoyo logístico para poder desarrollar este estudio.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alegre, J; Arévalo, L; Guzmán, W; Rao, M. 2000 Barbechos mejorados para intensificar el uso de la tierra en los trópicos húmedos de Perú. *Agroforestería en las Américas* 7 (27): 7-12.
- Arias, AR. 1986. Reseña sobre el Kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides* Roxb) Turrialba, Costa Rica, CATIE. 18 p.
- Beldt, R J Van den. 1988. *Cajanus cajan*: es mucho más que una legumbre NFTA. 2 p. (Serie 88-06).
- Buckles, D; Triomphe, B; Sain, G. 1999. Los cultivos de cobertura en la agricultura de ladera: innovación de los agricultores con mucuna CIID / CIMMYT / CATIE 244 p.
- Bunch, R. 1985. Dos mazorcas de maíz: una guía para el mejoramiento agrícola orientado hacia la gente. Oklahoma, USA, Vecinos Mundiales 268 p.
- Forsythe, W; Alberty, R; Noia, RJ. 1994. Producción y erosión en una siembra de maíz y frijol con diferentes coberturas vivas en pendientes fuertes en Costa Rica. *In* Thurston, H; Smith, M; Abawi, G; Kears, S. Eds. Los sistemas de siembra con cobertura Ithaca, New York, CATIE / CIIFAD p. 227-235.
- García, ER; Quiroga, MR; Granados, AN. 1994. Agroecosistemas de productividad sostenida de maíz, en las regiones cálidas húmedas de México. *In* Thurston, H; Smith, M; Abawi, G; Kears, S. Eds. Los sistemas de siembra con cobertura Ithaca, New York, CATIE / CIIFAD p. 65-79.
- Gündel, S. 1998. Participatory innovation development and diffusion: adoption and adaptation of introduced legumes in the traditional slash and burn peasant farming system in Yucatan, Mexico. Eschborn, TÖB / GTZ. 81 p.
- Haggar, JP; Uribe, G; Granel, JB; Ayala, A. 2000. Barbechos mejorados en la Península de Yucatán. *Agroforestería en las Américas* 7 (27):19-24.
- Herrera, F; Meléndez, G. 1997. El estudio de la vegetación en áreas dedicadas al frijol tapado. *Agronomía Mesoamericana* 8 (2): 1-11.
- Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" 1988. Atlas Nacional de la República de Panamá p. 7, 10-11.
- Kass, D. 1998. Barbechos mejorados. *In* Jiménez, F y Vargas, A. Eds. Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales. Turrialba, Coata Rica, CATIE / GTZ p. 241-256.
- Kass, D; Staver, C. 2000. Criterios para la selección de especies en barbechos mejorados en condiciones de campo. *Agroforestería en las Américas* 7 (27):34-36.
- León, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. 445 p.
- Melara, W; del Rio, L. 1994. Uso de labranza mínima y leguminosas de cobertura en Honduras. *In* Thurston, H; Smith, M; Abawi, G; Kears, S. Eds. Los sistemas de siembra con cobertura. CATIE/CIIFAD p. 57-63.
- Mercado, J; Calderón, F; Sosa, H. 1994. Sistemas de siembra con cobertura: la labranza de conservación sin quema, alternativa para la sostenibilidad agrícola en El Salvador. *In* Thurston, H; Smith, M; Abawi, G; Kears, S. Eds. Los sistemas de siembra con cobertura Ithaca, New York, CATIE / CIIFAD p. 45-55.
- Reining, L. 1992. Erosion in Andean hillside farming Germany, Center for Agriculture in the Tropics and Subtropics. 219 p.
- Samaniego, G; Montezuma, A. 1995. Metodologías participativas de desarrollo comunal aplicables en la agroforestería Ngöbe. *In* Segundo seminario taller de investigación y extensión forestal y agroforestal. Panamá, CATIE / INRENARE / ANIEFORP. p. 82-94.
- Sánchez, DR; Espinosa, GJ. 1984. Apuntes generales sobre la quema superficial. Panamá, IDIAP. 5 p. (Miscelánea técnica no. 4).
- Viera, J; Ramis, C. 1995. Manejo agronómico y utilización de la canavalia Venezuela, Fundación Polar / Universidad Central de Venezuela. 8 p.
- Yanggen, D; Alegre, J. 2000. Barbechos con kudzú: análisis socioeconómico, adopción e impacto sobre la deforestación en Pucalpa, Perú. *Agroforestería en las Américas* 7 (27):13-18.

Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas¹

Jaime Alberto Florez², Reinhold Muschler³, Celia Harvey³, Bryan Finegan³, David W. Roubik⁴

Palabras claves: Árboles; bosque; café; Costa Rica; polinización; sombra.

RESUMEN

Se han reportado incrementos en la producción hasta del 50% en cafetos visitados por abejas, que comúnmente representan más del 95% de sus visitantes florales. El área de cobertura del bosque circundante (m^2ha^{-1}) fue la variable que tuvo mayor relación con la riqueza y abundancia de abejas en cuatro zonas cafeteras de Costa Rica. Al eliminar el efecto de esta variable, la presencia de las abejas sin aguijón (*Meliponini*) y *Apis mellifera* fue más relacionado con la proximidad de los árboles de sombra por ser su principal recurso de nido, mientras que otras abejas de la familia Apidae (incluyendo euglosinas), Halictidae y Megachilidae respondieron a la vegetación de malezas (fuente de alimento) por no limitar sus sitios de nido a los árboles. En un estudio en una finca, se observó que la abundancia de abejas sin aguijón se concentró en el borde del cafetal que colindaba a un bosque ripario, mientras que *A. mellifera* no mostró diferencias entre sitios cerca y lejos de este bosque, sugiriendo la diferente capacidad de vuelo de estos dos grupos de abejas.

INTRODUCCIÓN

Los monocultivos de café (*Coffea arabica*) tienen menos biodiversidad que los cafetales multi-estratos tradicionales (Gallina *et al* 1996; Greenberg *et al* 1997; Moguel y Toledo 1999; Perfecto *et al* 1996). La diversidad de abejas es importante para la polinización en sistemas agrícolas y naturales; p.ej., incrementos en la producción hasta del 50% se han reportado en cafetos que fueron visitadas por abejas en comparación con los no visitados. Esta cifra es coherente con la alta proporción (95%) que representan estos insectos del total de sus vi-

Functional biodiversity in coffee fields: role of plant diversity for bee conservation

ABSTRACT

Yield increases of up to 50% have been reported for coffee bushes visited by bees, which commonly represent up to 95% of the flower visitors. Surrounding forest cover (m^2ha^{-1}) was positively correlated with both bee richness and abundance in four regions of Costa Rica. When surrounding forest density was eliminated from the analysis, the presence of stingless bees (*Meliponini*) and *Apis mellifera* was most strongly related to the proximity of shade trees which are their main nest sites. Other bees of the Apidae family (including euglossine bees), Halictidae and Megachilidae responded mostly to weeds (food source) because their nesting is not restricted to trees. In a study on one coffee farm, stingless bee abundance was concentrated in the borders with a riparian forest while the abundance of *A. mellifera* did not differ between near and far sites from this forest. This may be due to different flight ranges of these bee groups.

sitantes florales (Raw y Free 1977; Roubik 2000). Estos incrementos fueron atribuidos a una mayor retención y tamaño de los frutos provenientes de flores polinizadas por abejas (Badilla y Ramirez 1991; Roubik 2000). Otros beneficios que brindan las abejas son la reducción de la depresión endogámica de plantas, producción de mieles (algunas medicinales), ceras, polen y propoleo para el consumo humano. La presente investigación estuvo dirigida por dos objetivos: a) evaluar la diversidad y abundancia de abejas en fincas cafeteras con diferente

¹ Basado en: Florez, JA. 2001. Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de diversidad vegetal en la conservación de abejas y el papel de éstas en la producción del café Costa Rica. Tesis M Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica

² M Sc Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica 2002. E-mail: jaimeflorez@excite.com (autor para correspondencia).

³ Profesores investigadores, CATIE, Turrialba. E-mail: muschler@catie.ac.cr; charvey@catie.ac.cr; bfinegan@catie.ac.cr

⁴ Especialista en ecología de abejas. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), Panamá

diversidad vegetal; y b) evaluar la diversidad y abundancia de abejas en fincas rodeadas por paisajes con diferente cantidad de bosque.

METODOLOGÍA

Se realizaron tres estudios. El primero (riqueza y abundancia de abejas en función del tipo de paisaje) se llevó a cabo durante la floración del café (abril y mayo del 2000) en cuatro fincas ubicadas en zonas cafeteras de Costa Rica: i) San Pedro de Barva, Heredia (cafetal a pleno sol; temperatura media anual 19,9°C; precipitación media anual 2378 mm; 1200 msnm; 10°1'41" N, 84°8'35" W); ii) Palmares, Alajuela (cafetal con sombra; 21,3°C; 1887 mm; 1017 msnm; 10°4'26" N, 84°26'44" W); iii) San José (cafetal con sombra; 22,9°C; 2045 mm; 1050 msnm; 9°58'4" N, 84°8'18" W); y iv) Huacas de Hojancha, Guanacaste (cafetal con sombra; 24,5°C; 2960 mm; 700 msnm; 10°1'25" N, 84°22'39" W). En cada finca se establecieron entre 14-26 transectos (sumando entre 665 a 1288 m según la finca) para realizar capturas con red y avistamientos de abejas durante tres días homogéneamente soleados (7:00 am – 3:00 pm). En cada transecto se evaluó el porcentaje de cobertura del dosel de sombra con estimaciones visuales. Los agroecosistemas se caracterizaron por su vegetación: la riqueza, densidad y estructura diamétrica de árboles se evaluó en parcelas de 20 x 50 m (Llenderal y Somarriba 1999); la riqueza, abundancia relativa y cobertura de malezas se evaluaron en alrededor de 300 puntos en cada finca usando el muestreo de "punta de zapato" descrito por Guharay *et al* (2000). Debido a la gran distancia entre las cuatro fincas y las diferencias en paisaje que esto representó, se evaluó el área de cobertura de bosque alrededor de cada una (m^2ha^{-1}) hasta un radio de 1200 m, haciendo uso de fotografías aéreas que fueron analizadas con el software Arc View versión 3.2

El segundo estudio (riqueza y abundancia de abejas en función de la distancia al bosque) evaluó el efecto de la distancia al bosque sobre las poblaciones de abejas en la finca San Pedro (a pleno sol) del estudio ya descrito. Los datos se agruparon de manera que representaron tres grandes transectos (con tres repeticiones correspondientes a los tres días de la floración evaluada), paralelos y a distancias de 20, 180 (mitad del cafetal) y 350 m de un bosque ripario que bordea la finca.

El tercer estudio (riqueza y abundancia de abejas en función de la vegetación del cafetal) se realizó dentro una misma zona (San Pedro), con el propósito de eliminar el paisaje como una fuente de variabilidad y poder analizar mejor el papel que cumplen las características

internas de cada finca sobre la diversidad de abejas. Se trabajó en cuatro hábitats separados entre sí a una distancia máxima de 800 m: un cafetal a pleno sol (SOL; el mismo de los dos estudios anteriores), dos con sombra (SBM: sombra con baja cobertura de malezas; SAM: sombra con alta cobertura de malezas), y un bosque ripario (BR) como testigo de un hábitat natural. El estudio se realizó en épocas sin flores de café (agosto-septiembre del 2000), evaluando la riqueza de abejas hasta una altura de 7 m (suelo, hojarasca, malezas, árboles y arbustos). Las evaluaciones se realizaron entre 7:00 am y 3:00 pm durante cinco días homogéneos con clima soleado en cada hábitat (los muestreos se realizaron en un área central de 1 ha durante 40 h [8h x 5d] para cada hábitat). Al igual que en el primer estudio, se evaluó el dosel de sombra y la vegetación herbácea de cada sistema. Como complemento a este estudio y en los mismos hábitats, se muestrearon además abejas euglosinas (Apidae: Euglossini). Para esto se colocaron tres cebos (papel absorbente + 1 cc de Cineole) en el centro de cada hábitat, distribuidos en una línea de 15 m de longitud, colgada a 2 m de altura. Se registró el número de individuos que llegaron a los cebos durante los primeros 30 minutos después de aplicar el atrayente (tres periodos: 0-5 min, 5-15 min, 15-30 min). Esta evaluación se realizó cinco veces (un día diferente cada una) en cada hábitat.

Debido a las diferencias entre los agroecosistemas evaluados (ausencia de repeticiones), el análisis se hizo de manera descriptiva utilizando las diferentes situaciones como estudios de caso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Población de abejas en función de la vegetación

Diversidad y riqueza de abejas en función del tipo de paisaje: Se registró un total de 202 individuos de abejas en flores de café en todas las fincas, distribuidas en 16 especies. *A. mellifera* (794 individuos) no se incluyó en el análisis ya que en dos fincas (Guanacaste y Palmares) hubo apiarios comerciales de esta especie, ocasionando que su abundancia no respondiera totalmente a las características de la finca. Es posible que en estas fincas la abundancia de *A. mellifera* haya afectado la abundancia de otras especies de abejas (competencia). La finca de Guanacaste mostró el mayor número de especies y abundancia de abejas (14 y 117, respectivamente), seguida por Heredia (7 y 58), San José (2 y 14) y Palmares (2 y 13). Los índices de diversidad Alfa de Fisher (α) y de Simpson (D), respecto a las abejas, reflejan acertadamente los datos: Guanacaste > Heredia > Palmares > San José (Cuadro 1)

Al analizar las características de cada finca, se observó que los incrementos en el área de bosque circundante (Figura 1) estuvieron acompañados de incrementos en la diversidad y abundancia de abejas (Cuadro 1). Las variables que describen la vegetación interna de la finca (árboles y malezas) no mostraron una relación clara con la riqueza y abundancia de abejas. Sin embargo, el bajo número de fincas combinado con la variabilidad de sus condiciones ambientales y de manejo obligan a complementar estos resultados con más estudios. La sombra (porcentaje de cobertura de los árboles del cafetal) tampoco mostró un efecto significativo sobre la abundancia de abejas.

Diversidad y riqueza de abejas en función de la distancia al bosque: *A. mellifera* no mostró respuesta a la distancia del bosque ripario, mientras que las abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponini) fueron significativamente ($p < 0,05$) más abundantes en el transecto más cercano a dicho bosque (20 m), comparado a los otros dos transectos (180 y 350 m), que no mostraron diferencias significativas entre sí (Figura 2). La presencia de Meliponini en el transecto más lejano del bosque ripario (350 m, junto al otro borde de la finca) puede ex-

plicarse por la presencia de árboles aislados ubicados sobre el camino que acompaña este borde de la finca, así como de otras estructuras que pueden servir de nido para las especies registradas (postes de madera en el lindero de la finca, casas, etc.).

La tendencia a observar mayores rangos de vuelo en abejas grandes puede explicar que solo *A. mellifera* haya alcanzado el transecto ubicado en el centro del cafetal. Esta especie es aproximadamente 2,5 veces mayor que las cuatro especies registradas de la tribu Meliponini (*Geotrigona lutzii*, *Trigona corvina*, *Tetragonisca angustula* y *Nannotrigona perilampoides*).

Los resultados del presente estudio apoyan una relación positiva entre la abundancia de abejas y la cercanía de vegetación natural (fuente de nido y alimento), indicada por Heard (1999) y Roubik (1995). Este último postuló como regla general que cualquier cultivo que requiera polinización por insectos producirá menos si es plantado en terrenos más anchos de 100 m. Los polinizadores tienden a concentrarse en los bordes, más si la oferta floral es sincrónica y abundante, como sucede en muchas zonas con los cafetales.

Cuadro 1. Descripción de la población de abejas y la vegetación en las fincas evaluadas durante la floración del café en Costa Rica. Las fincas están ordenadas de mayor a menor riqueza y abundancia de abejas.

	Guanacaste	Heredia	Palmares	San José
Abejas				
Long transectos de muestreo (m)*	665	1288	809	940
No. spp. TOTAL**	14	7	2	2
Abundancia TOTAL**	117	58	13	14
Abundancia Meliponini	95	56	13	13
Abundancia Halictidae	7	0	0	0
Abundancia Megachilidae	6	0	0	0
Abundancia otros Apidae***	9	2	0	1
α	4,14	2,08	0,66	0,63
<i>D</i>	0,68	0,53	0,46	0,14
Árboles				
No. especies	44	0	10	14
Densidad total (individuos ha ⁻¹)	560	0	445	57
Densidad individuos > 50 cm dap	5	0	0	12
Cobertura (%)	36	0	41,8	34,5
α	6,6	0	1,4	2,6
<i>D</i>	0,9	0	0,5	0,9
Malezas				
No. especies	40	22	34	18
Cobertura (%)	37,9	4,8	17,2	2,4
α	6,2	4,7	6,0	4,5
<i>D</i>	0,9	0,9	0,9	0,9
Área de bosque en 1,2 km de radio (m²ha⁻¹)				
	3500	653	262	499

* Las cifras representan la suma de la longitud total de los transectos en cada finca ** El total de abejas no incluye *Apis mellifera*. Las cifras corresponden a los registros tomados durante el tiempo total de muestreo (24 h: 8 h x 3 días). *** Otros Apidae: abejas de la familia Apidae, excluyendo *A. mellifera* y la tribu Meliponini α : índice de diversidad Alfa de Fischer; *D*: índice de diversidad de Simpson.

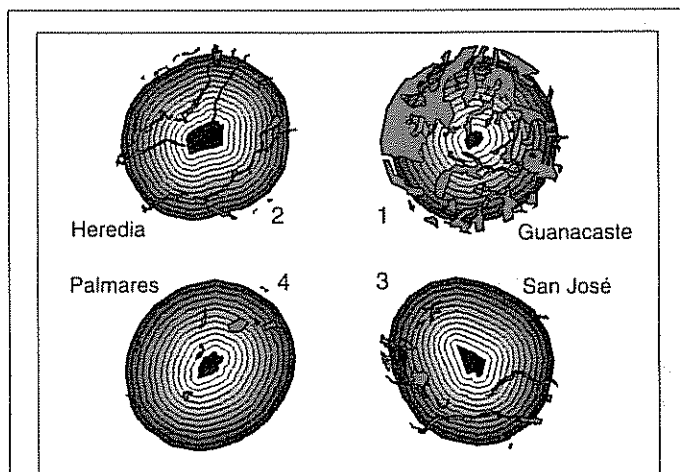


Figura 1. Parches de bosque alrededor de las fincas cafeteras (área oscura central) donde se evaluó la diversidad de abejas durante la floración del café en Costa Rica. Los anillos concéntricos representan distancias de 100 m (hasta 1200 m). Los números indican el orden en que decrece el área de bosque entre las fincas.

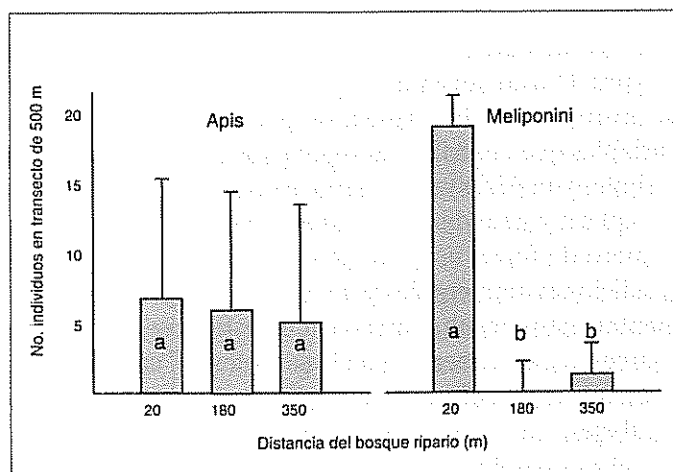


Figura 2. Efecto de la distancia del bosque ripario de la finca San Pedro en Barba de Heredia, Costa Rica (a pleno sol) sobre la abundancia de abejas visitando flores de café. Las barras indican el error estándar del muestreo repetido en el tiempo (n=3). Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las distancias para cada grupo de abejas.

Diversidad y riqueza de abejas en función de la vegetación del cafetal: Se registró un total de 1366 abejas de 39 especies. El hábitat SAM (sombra con alta cobertura de malezas) mostró la mayor riqueza registrando 32 especies, seguido por 26 en BR (bosque ripario), 12 en SBM (sombra con baja cobertura de malezas) y por último 2 en SOL (pleno sol), único hábitat con ausencia total de Halictidae, Megachilidae y otros Apidae. La abundancia total de abejas tuvo una tendencia similar, aunque se invirtieron los dos primeros lugares: BR 578 individuos, SAM 487, SBM 285 y SOL 16. Los índices de diversidad α y D reflejan la información mencionada: SAM > BR > SBM > SOL (Cuadro 2).

La abundancia de abejas Halictidae, Megachilidae, Apis y otros Apidae aumentó a medida que lo hizo la cobertura de malezas (la excepción fue Meliponini). Las otras variables que caracterizan la vegetación interna de las fincas no mostraron una relación clara con la abundancia de estos grupos de abejas (Cuadro 2). En el trópico, muchas especies de malezas son importantes para la apifauna por poseer flores todo el año (Lagerlöf *et al* 1992). Abejas de la familia Halictidae, Megachilidae y otros Apidae pueden anidar cerca de su alimento; la presencia de árboles no es tan determinante como para Meliponini (fuente principal de nido). Las Halictidae anidan preferencialmente en el suelo, al igual que el género *Exomalopsis*, que representó el 60% de los indivi-

duos del grupo de otros Apidae. Las abejas Megachilidae no tienen preferencias muy marcadas; pueden anidar en el suelo, así como en ramas delgadas, nidos abandonados de otras especies (p.ej., coleópteros) y otro tipo de hábitats (Roubik 1989).

La vegetación arbórea es el principal recurso de nido para las abejas Meliponini (Wille y Michener 1973), lo cual explica porqué su abundancia se incrementó con las variables arbóreas (número de especies, cobertura, densidad de árboles gruesos ($dap > 50$ cm), e índices de diversidad α y D). Hubbell y Johnson (1977) resaltan como ventajas la alta diversidad de árboles, donde dominan las clases diamétricas grandes, que tienden a tener mas cavidades (preferiblemente mayores a 50 cm dap).

Los resultados del uso de cebos para atraer abejas euglosinas reiteraron la importancia de la vegetación arbórea en la conservación de abejas. A excepción del primer periodo (0-5 min.), el número de individuos que llegaron en cada periodo de evaluación difirió significativamente entre hábitats ($p < 0,05$). Las diferencias se originaron en el hábitat SOL, único hábitat sin árboles, donde solo fue capturado un individuo durante los cinco muestreos (Figura 3). La atractividad de hábitats con árboles para abejas euglosinas se debe a estructuras leñosas, hojas, exocarpio de frutos y bromelias en muchos árboles, que sirven como nido para estas especies (Zucchi *et al* 1969).

Cuadro 2. Descripción de la población de abejas y la vegetación en los hábitats evaluados durante épocas sin flores de café en la finca San Pedro, Barva de Heredia, Costa Rica.

	SOL*	SBM	SAM	BR
Abejas **				
No spp. TOTAL	2	12	32	26
Abundancia TOTAL	16	285	487	578
Abundancia Apis	14	83	184	122
Abundancia Meliponini	2	173	87	404
Abundancia Halictidae	0	6	67	25
Abundancia Megachilidae	0	3	25	10
Abundancia otros Apidae ***	0	20	124	17
α	0,60	2,53	7,68	5,59
D	0,22	0,73	0,80	0,79
Árboles				
No especies	0	14	4	40
Dens. total (individuos ha ⁻¹)	0	104	496	1343
Dens. individuos > 50 cm dap	0	4	0	29
Cobertura (%)	0	37,3	20,8	64,3
α	0	4,9	0,59	8
D	0	0,9	0,56	0,9
Malezas				
No. especies	22	25	31	23
Cobertura (%)	4,8	10,7	70,2	18,3
α	4,7	4,6	4,17	3,7
D	0,9	0,9	0,93	0,9

* SOL: cafetal a pleno sol; SBM: cafetal con sombra y baja cobertura de malezas; SAM: cafetal con sombra y alta cobertura de malezas; BR: Bosque ripario; α : índice de diversidad Alfa de Fischer; D : índice de diversidad de Simpson. ** Las cifras reportadas corresponden a los registros tomados durante el tiempo total de muestreo (40 h). *** Otros Apidae: abejas de la familia Apidae, excluyendo *Apis mellifera* y la tribu Meliponini.

Especies de plantas más atractivas para abejas

Las herbáceas o malezas, fueron las especies que atrajeron más del 95% de abejas en el tercer estudio. Sin embargo, de las 72 especies de malezas solo 15 (20%) fueron visitadas por abejas, dominando la familia Asteraceae (Cuadro 3).

De julio a octubre del 2000, las especies arbóreas visitadas por abejas fueron solo 4 (12,1%) de las 33 en los cuatro hábitats (Cuadro 3): *Inga edulis* (Mimosoideae), *Croton draco* (Euphorbiaceae), *Syzygium jambos* (Myrtaceae) y *Ficus costaricana* (Moraceae). Otras especies pueden haber sido visitadas pero la altura de sus flores hizo difícil registrarlas (la altura máxima de muestreo fue 7 m).

El género *Inga* es reportado frecuentemente como fuente melífera para abejas (Arce *et al* 2001; Zevallos y Pérez 1990), coincidiendo con los registros tomados sobre *Inga edulis*, que sobresalieron por la diversidad de abejas. En los hábitats donde se observó esta especie (SAM y SBM), fueron los únicos donde se registraron abejas grandes. En BR, estas abejas se observaron sobre Heliconias y en arbustos de *Hamelia patens* (Rubiaceae). *Croton draco* sobresalió por la profusa visitación de *A. mellifera* y abejas Meliponini (principalmente

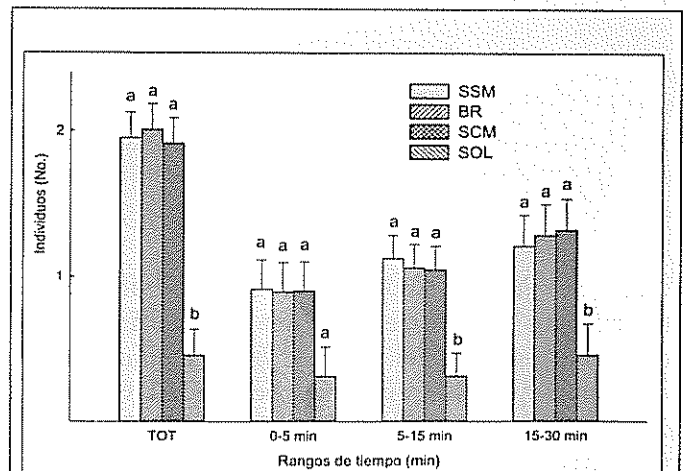


Figura 3. Número de abejas euglosinas (raíz cuadrada + 0,1) capturadas 30 minutos después de colocar atrayentes químicos en épocas sin flores de café en la finca San Pedro, Barva de Heredia, Costa Rica. SOL: cafetal a pleno sol; SBM: cafetal con sombra y baja cobertura de malezas; SAM: cafetal con sombra y alta cobertura de malezas; BR: bosque ripario; TOT: periodo total (0-30 minutos). Las barras indican el error estándar (n=5). Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre hábitats para cada periodo de tiempo evaluado.

Cuadro 3. Especies vegetales visitadas por abejas en épocas sin flores de café (finca San Pedro, Barva, Heredia, Costa Rica. Las cifras corresponden al número de abejas que visitaron flores de malezas del hábitat SAM.

Gremio	Especie	Familia	Hábitats	No. de abejas visitando malezas					
				TOT	Apis	Melip	Halic	Megach	Otr-Ap
Malezas	<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	SOL, SBM, SAM	127	57	4	25	13	28
	<i>Elbira biflora</i>	Asteraceae	SBM, SAM	19	1		13		5
	<i>Emilia fosbergii</i>	Asteraceae	SOL, SBM, SAM	44	40		3	1	
	<i>Jaejeria hirta</i>	Asteraceae	SAM	8		7	1		
	<i>Melampodium divaricatum</i>	Asteraceae	SAM	14		13	1		
	<i>Impatiens walleriana</i>	Balsaminaceae	SBM, SAM, BR	10		10			
	<i>Commelina diffusa</i>	Commelinaceae	SOL, SAM	4		3			1
	<i>Marsiphanthes chamaedris</i>	Lamiaceae	SOL, SBM, SAM	69	13	4	2	5	45
	<i>No identif. (enredadera)</i>	Passifloraceae	SAM	12	10				2
	<i>Ixophorus sp</i>	Poaceae	SOL, SBM, SAM	14	5	9			
	<i>Setaria sp</i>	Poaceae	SAM, BR	1	1				
	<i>Richardia scabra</i>	Rubiaceae	SOL, SBM, SAM	39	20	4	8	1	6
	<i>Spermacoce ocyimifolia</i>	Rubiaceae	SOL, SBM, SAM	27	2	3	11		11
	<i>Browallia americana</i>	Solanaceae	SOL, SBM	2		2			
	<i>Spananthe paniculata</i>	Umbellifera	SAM	25		25			
	Árboles	<i>Croton draco</i>	Euphorbiaceae	BR					
<i>Inga edulis</i>		Fab-Mimosoideae	SBM, SAM						
<i>Ficus costaricana</i>		Moraceae	SBM, BR						
<i>Syzygium jambos</i>		Myrtaceae	SBM, BR						
Arbustos	<i>Hamelia patens</i>	Rubiaceae	BR						

SAM: cafetal con sombra y alta cobertura de malezas, SBM: cafetal con sombra y baja cobertura de malezas; SOL: cafetal a pleno sol; BR: bosque ripario; TOT: abejas totales; Apis: *Apis mellifera*; Melip: tribu Meliponini; Halic: familia Halictidae; Megach: familia Megachilidae; Otr-Ap: familia Apidae excluyendo Meliponini y Apis.

Geotrigona lutzi), siendo solo dos o tres árboles en floración los que atrajeron la mayoría de individuos registrados en el hábitat BR. *Syzygium jambos* y *Ficus costaricana* presentaron la particularidad de atraer abejas por sus nectarios extraflorales (no tenían flores), pero Arce *et al* (2001) resaltaron a *S. jambos* por el importante recurso que representa para las abejas en época de floración. En este estudio sus nectarios extraflorales atrajeron solo individuos de *Tetraginisca angustula* en BR. Dos o tres árboles de *F. costaricana* fuertemente podados (poda baja; ya habían regenerado ramas) atrajeron casi la totalidad de individuos de *T. corvina* registrados en SBM.

Implicaciones para el diseño de agroecosistemas

Para promover las ventajas derivadas de la diversidad y abundancia de abejas, el diseño de agroecosistemas de-

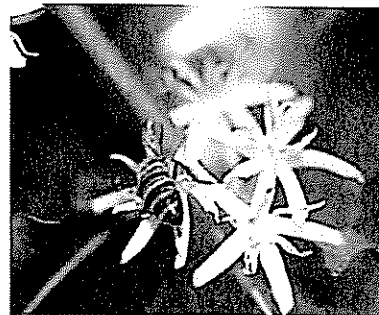
be tener en cuenta criterios para la selección de la vegetación de importancia apícola, siendo los más relevantes: 1) abundancia de la especie vegetal; 2) cantidad y calidad de miel que produce (Chemas y Rico-Gray 1991); 3) preferencia que muestran las abejas por ella; y 4) duración de la floración (Zevallos y Pérez 1990). Además, es importante incluir medidas de manejo como: 1) selección de sitios con diferentes estados de sucesión vegetal; y 2) promoción y protección de la vegetación melífera (Chemas y Rico-Gray 1991).

Los agroecosistemas amigables con las abejas deben contemplar un mosaico de especies arbóreas con un porcentaje de individuos a libre crecimiento, sin planes de corta, que puedan alcanzar diámetros grandes (preferiblemente mayores a 50 cm de dap), promoviendo así las posibilidades de anidación de especies de abejas con

diferentes preferencias. Estos árboles pueden ubicarse en bordes o esquinas de lotes donde no sombreen excesivamente al café, o en bosques riparios y otras áreas naturales aledañas. *Cassia grandis*, *Samanea saman* y algunas especies de los géneros *Inga* (p.ej., *I. densiflora*), *Ocotea*, *Persea* y algunas Sapotaceae, que a su vez brindan recursos florales importantes, pueden ser ejemplos para esta categoría de árboles.

La combinación de especies arbóreas debe garantizar en la medida de lo posible una disponibilidad constante de flores a lo largo del año. El cuello de botella lo constituyen los meses con baja floración, que son de junio a octubre en el caso de las zonas donde se realizó el estudio. Arce *et al* (2001) mostraron que de 63 especies arbóreas melíferas nativas de Mesoamérica, solo el 30% florece en dicho periodo (comparados con febrero-abril con 75-80%). Esta limitante se podría contrarrestar aumentando la proporción de árboles que florecen en la época crítica, dentro de los que Arce *et al* (2001) mencionan: *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Byrsonima crassifolia*, *Cecropia peltata*, *Cedrela odorata*, *Croton draco*, *C. xalapensis*, *Genipa americana*, *Inga densiflora*, *Lonchocarpus costaricensis*, *Muntingia calabura*, *Ochroma pyramidale*, *Oreopanax xalapensis*, *Plumeria rubra*, *Pouteria sapota*, *Psidium guajava*, *Senna spectabilis* y *Trema micrantha*. Otras especies melíferas importantes son: *Inga* spp., *Cordia alliodora*, *Eucalyptus* spp., *Gliricidia sepium*, *Gymnopodium floribundum*, *Citrus* spp., *Anacardium occidentale*, *Mangifera indica*, *Melicocca bijugatus*, *Prosopis juliflora*, *Acacia mellifera*, *A. tortilis*, *A. senegal*, *A. xanthophloea*, *A. drepanolobium*, *Calliandra calothyrsus*, *Tabebuia rosea*, *T. ochracea*, *T. impetiginosa* y varias especies de palmas (Arce *et al* 2001; Chemas y Rico-Gray 1991; González 1993; Townsend 1982). Muchas de las especies mencionadas se encuentran en sistemas agroforestales y son valiosas por su madera, frutos, forraje u otros recursos (fijación de N, materia orgánica, cercas vivas, leña, etc.). Algunas especies que pueden competir excesivamente con el cultivo deben establecerse en los bordes de los lotes, caminos, o en áreas de conservación. Por otro lado, otras especies de árboles pueden perjudicar la apifauna. Este es el caso del árbol conocido como Llama del bosque (*Spathodea campanulata*) en el interior de cuyas flores frecuentemente se han visto individuos muertos de *T. fulviventris* y otras abejas sin aguijón, indicando la posible toxicidad de su néctar o polen (observación personal).

La importancia de las guabas y cuajiniquiles (*Inga* spp.) es alta para cafetales por la gran adopción que tienen



Apis mellifera visitando flores de café.
Foto: Taylor Ricketts.

estas especies como sombra, siendo las más comunes *I. densiflora*, *I. edulis*, *I. sapindoides*, *I. punctata*, *I. jinicuill* (= *I. paterno*), *I. vera*, *I. oerstediana* e *I. spectabilis* (Zamora y Pennington 2001). En sus flores se han observado desde Trigonas pequeñas hasta abejas grandes de los géneros *Eulaema* y *Xylocopa*. Muchas especies florecen varias veces en el año siempre y cuando el manejo de podas lo permita y por ende, alcancen su potencial melífero.

La vegetación arbórea por si sola puede no ser suficiente para mantener una comunidad diversa de abejas. Las arvenses pueden suplir recursos florales incluso en los meses de baja floración y según Guharay *et al* (2000), brindan también beneficios al cafetal si se manejan de manera adecuada (p.ej., aumentando la proporción de especies rastreras, que compiten poco con el cultivo y cubren el suelo). Especies más competitivas con el cultivo pueden tratar de restringirse afuera de las áreas de cultivo. Lagerlöf *et al* (1992) mostraron que al promover diferentes tipos de vegetación herbácea en los márgenes de los campos de cultivo se logró atraer una gran abundancia de insectos polinizadores (abejas, mariposas y moscas). Arbustos como *Hamelia patens*, *Hibiscus rosa-sinensis* y *Tithonia* spp. pueden integrar un estrato de gran oferta floral para las abejas en estas áreas, seguido de especies herbáceas más bajas como *Bidens pilosa*, *Marsipianthes chamaedris*, *Emilia fosbergii*, *Impatiens walleriana*, *Melampodium divaricatum*, *Elbira biflora*, *Mimosa pudica* y *Viquiera dentata*. Algunos bejucos como los del género *Ipomoea* (Convolvulaceae) producen néctar y polen de alta calidad (González 1993), pero se debe evitar su invasión dentro del cultivo por el daño que producen. Especies de hábito rastrero como *Arachis pintoi*, que presentan atractividad para *A. mellifera* y las abejas sin aguijón, pueden promoverse dentro del cafetal.

La cercanía de parches de bosque a los cafetales no es frecuente. Una manera de contar con vegetación madura es conservar y reforestar el cauce de ríos y quebradas. Hill (1995) mostró cómo este tipo de corredores puede servir como vía de dispersión para algunas especies (mariposas y escarabajos estercoleros) propias del interior del bosque. Burel (1996) afirma que en paisajes intensamente intervenidos, donde la presencia de corredores naturales es escasa, las plantaciones de árboles en línea o en franjas pueden contribuir enormemente a la biodiversidad.

Las recomendaciones mencionadas son compatibles con las normas de empresas certificadoras como Rainforest Alliance (sello "Eco-OK") y Smithsonian Migratory Bird Center (sello "Bird Friendly Coffee") que promueven la diversidad en los cafetales creando la oportunidad de entrar al mercado de cafés especiales y alcanzar sobreprecios.

CONCLUSIONES

- Tanto la abundancia de bosque en el paisaje circundante a los cafetales, como la vegetación interna de

las fincas, favorecen la riqueza de abejas. Sin embargo, son necesarios estudios más integrales para entender mejor el grado de incidencia de cada uno de los componentes vegetales sobre los diferentes grupos de abejas.

- El componente vegetal del cafetal al cual mostraron mayor respuesta las abejas varió según las especies de abejas. *Apis mellifera* y principalmente la tribu Euglossini y Meliponini mostraron mayor dependencia de los árboles por sus hábitos de anidación. Por otro lado, la familia Halictidae, Megachilidae y otras Apidae no ven limitados sus sitios de nido a los árboles y esto puede explicar su mayor respuesta a la vegetación de malezas como fuente de alimento.
- En cafetales en floración, las abejas tienden a distribuirse con mayor frecuencia en los bordes, más si colindan con remanentes de bosque. Este comportamiento es más claro en las especies pequeñas, que tienden a mostrar una menor capacidad de vuelo. Los sistemas agrícolas que pretendan beneficiarse de la polinización deben procurar áreas de cultivo con distancias cortas al borde, no mayores de 100 m.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Arce, HG; Sánchez, LA; Slaa, J; Sánchez-Vindas, PE; Ortiz, MA; Veen, JW van; Sommeijer, MJ 2001. Árboles melíferos nativos de Mesoamérica Heredia, Costa Rica. Centro de investigaciones apícolas tropicales (CINAT), Universidad Nacional de Costa Rica. 207 p.
- Badilla, F; Ramirez, W 1991. Polinización de café por *Apis mellifera* L. y otros insectos en Costa Rica. Turrialba 41(3): 285-288.
- Burel, F. 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. Critical Reviews in Plant Sciences 15(2): 169-190.
- Chemas, A; Rico-Gray, V. 1991. Apiculture and management of associated vegetation by the Maya of Tixcacaltuyub, Yucatán, México. Agroforestry Systems 13: 13-25.
- Gallina, S; Mandujano, S; Gonzalez-Romero, A. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. Agroforestry Systems 33: 13-27.
- González, JC. 1993. Plantas melíferas de importancia económica Pan-
kia (Boletín Informativo IBLL) 12 (4): 3-4
- Greenberg, R; Bichier, P; Sterling, J 1997. Bird population in rustic and planted shade coffee plantations of eastern Chiapas, Mexico. Biotropica 29: 501-514.
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D; Staver, C. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Turrialba, Costa Rica, CATIE 272 p. (Manual Técnico no 44)
- Heard, TA. 1999. The role of stingless bees in crop pollination. Annual Review of Entomology 44: 183-206
- Hill, CJ 1995. Linear strips of rain forest vegetation as potential dispersal corridors for rain forest insects. Conservation Biology 9(6): 1559-1566
- Hubbell, SP; Johnson, L K. 1977. Competition and nest spacing in a tropical stingless bee community. Ecology 58: 949-963.
- Lagerlöf, J; Stark, J; Svensson, B. 1992. Margins of agricultural fields as habitats for pollinating insects. Agriculture, Ecosystems and Environmental 40: 117-124
- Llanderal, T; Somarriba, E. 1999. Tipologías de cafetales en Turrialba, Costa Rica. Agroforestería de las Américas 6(23): 30-32
- Moguel, P; Toledo, V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of México. Conservation Biology 13(1): 11-21.
- Perfecto, I; Rice, RA; Greenberg, R; Van der Voort, ME. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. BioScience 46(8): 598-608
- Raw, A; Free, JB. 1977. The pollination of coffee (*Coffea arabica*) by honeybees. Tropical Agriculture 54 (4): 365-370
- Roubik, DW 1989. Ecology and natural history of tropical bees. New York. Cambridge University Press. 514 p
- Roubik, DW 1995. Pollination of cultivated plants in the tropics. FAO Agricultural Services Bulletin No. 118. 198 p.
- Roubik, DW 2000. Feral African bees augment Neotropical coffee yield. In International Symposium on Pollination (1998, Cardiff, Wales, UK). Proceedings. Eds. P.G Kevan, V.L Imperatriz-Fonseca IBRA, International Bee Research Association
- Townsend, GF 1982. Árboles melíferos de trópico. Unasylva 34 (135): 38-39
- Wille, A; Michener, C. 1973. The nest architecture of stingless bees with special reference to those of Costa Rica (Hymenoptera: Apidae). Revista de Biología Tropical 21: 9-278
- Zamora, N; Pennington, T. 2001. Guabas y Cuajiniquiles de Costa Rica (*Inga spp.*). Santo Domingo de Heredia, Editorial IN-BIO. 197 p.
- Zevallos, PA; Pérez, EE. 1990. Determinación del potencial melífero de los bosques secundarios de Pucallpa. Estudio preliminar. Pucallpa, Perú, UNALM/UT/CIID. 95 p
- Zucchi, R; Sakagami, SF; Camargo, IMF 1969. Biological observations on a neotropical parasocial bee *Eulaema nigrita*, with a review of the biology of Euglossinae. A comparative study. Journal of Science Hokkaido University Faculty Ser. VI Zoology 17: 271-380.

Árboles nativos para diversificar cafetales en la zona Atlántica de Costa Rica¹

Mildred Linkimer², Reinhold Muschler³, Tamara Benjamin³, Celia Harvey³

Palabras claves: Árboles de sombra; atributos claves; caracterización de especies; compatibilidad árbol-café; diversificación; selección de especies; trópico húmedo

RESUMEN

El objetivo del estudio fue contribuir al desarrollo de la caficultura sostenible, identificando y caracterizando especies arbóreas que pueden ser utilizadas para diversificar cafetales de la zona Atlántica de Costa Rica. Se entrevistó a 95 caficultores para identificar las especies arbóreas utilizadas como sombra y los atributos claves que determinan la compatibilidad de los árboles con café. Los finqueros mencionaron 62 especies arbóreas, arbustivas y herbáceas (*Musa* spp.) que han sido utilizadas en cafetales de la zona; de las cuales 40 especies fueron identificadas como "nativas" (algunas son naturalizadas). Los atributos más importantes de los árboles fueron los relacionados con el establecimiento, manejo y compatibilidad, particularmente basados en características de la copa (p.ej., forma y tamaño) y de las raíces. De las 62 especies, 16 fueron clasificadas dentro de las más adecuadas para ser asociadas con café. Entre ellas, las de mayor calificación para la zona Atlántica de Costa Rica fueron *Inga* spp., *Psidium friedrichsthalianum*, *Spondias purpurea*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Simarouba amara*, *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium*.

INTRODUCCIÓN

La crisis actual que enfrenta la caficultura Costarricense por la reducción en los precios internacionales del café y por el alza en los costos de producción del cultivo, justifica la búsqueda de otras alternativas para incrementar tanto la productividad, como la sostenibilidad de los sistemas cafetaleros. Sin embargo, a pesar de todos los beneficios que se obtienen al implementar los sistemas de café con sombra de árboles, Costa Rica ha sido uno

Native trees for the diversification of coffee farms in the Atlantic zone of Costa Rica

ABSTRACT

The objective of the study was to contribute to the development of sustainable coffee production by identifying and characterizing trees that can be used to diversify coffee plantations in the Atlantic region of Costa Rica. Interviews of 95 coffee farmers were used to identify coffee shade trees and the attributes that determine the compatibility of these trees with coffee. The farmers mentioned a total of 62 tree, shrub and herbaceous (*Musa* spp.) species that have been used in coffee plantations in this zone; of these, 40 were identified as "native" tree species (some are in fact naturalized). The most important tree attributes were those related to the establishment, management and compatibility of the trees, particularly based on crown (e.g., crown width, crown shape) and root attributes. Amongst these 62 species, 16 were classified as the most suitable for incorporation in coffee plantations. Among them, *Inga* spp., *Psidium friedrichsthalianum*, *Spondias purpurea*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Simarouba amara*, *Erythrina poeppigiana* and *Gliricidia sepium* were the tree species with the highest qualifications for the Atlantic region of Costa Rica.

de los países de América Central que más ha impulsado una caficultura sin sombra, práctica que se desarrolló con más fuerza a partir de los años 70 del siglo XX. La implementación de sistemas agroforestales contribuye a mejorar la productividad y sostenibilidad económica y ecológica de la finca, al conservar los recursos naturales como el agua, suelo y biodiversidad (Jiménez y Muschler 2001). Se han tenido experiencias valiosas que

¹ Basado en: Linkimer, M 2001. Árboles nativos para diversificar cafetales en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis M Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

² M.Sc. en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001 E-mail:mlinkimer@proteconet.go.cr (autora para correspondencia).

³ Profesores Investigadores, CATIE, Turrialba, Costa Rica E-mails: muschler@catie.ac.cr; tamara@catie.ac.cr; charvey@catie.ac.cr

demuestran que existen árboles nativos (p.ej., *Inga* spp., *Swietenia macrophylla*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata* y *Alnus acuminata*) con un alto potencial para producir en asociación con el cafeto (Sabogal 1983; Hernández *et al* 1997; Montenegro *et al* 1997), al mismo tiempo que pueden aumentar la diversidad ecológica del sistema al conservar la flora nativa y la fauna relacionada con ellas. Solamente 300 de aproximadamente 2000 especies arbóreas que se encuentran en Costa Rica, han sido utilizadas por su madera y menos de 10 han sido utilizadas en la mayoría de las áreas reforestadas. Más de 40 especies han sido catalogadas como especies con algún grado de amenaza en el país (Jiménez y Poveda 1997). Para contribuir al desarrollo de una caficultura sostenible y al mismo tiempo conservar especies arbóreas nativas del país, se planteó como objetivo de este estudio identificar y caracterizar especies arbóreas nativas para diversificar cafetales en la zona Atlántica de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la zona cafetalera de los cantones de Turrialba (9°47' N y 83°34' O) y Jiménez (9°47' N y 83°41' O). La zona se caracteriza por ser parte de la vertiente montañosa de la costa Atlántica de Costa Rica, con alturas entre los 600 y 900 msnm, con excepción del distrito de Peralta, que se ubica a 390 msnm. La precipitación es de 3000 a 3750 mm anuales, con una humedad relativa de 87 a 90% y una temperatura promedio anual de 22°C (Zamora 1998). Según la clasificación de Holdridge (1978), la región se ubica en las zonas de vida: Bosque Muy Húmedo Premontano y Bosque Muy Húmedo Tropical.

El estudio se dividió en cuatro fases: 1) selección de atributos claves de los árboles que determinan su compatibilidad con café según los productores de la zona; 2) asignación de pesos a los atributos claves para la compatibilidad con café; 3) identificación de las especies arbóreas presentes en los cafetales; y 4) selección de especies nativas recomendables que pueden ser utilizados en asocio con café.

En la primera fase, se realizó una encuesta a caficultores elegidos al azar de las listas de productores que entregan café en los beneficios de CoopeSuiza, Compañía Santa Rosa Ltda. y Volcafé. El tamaño de la muestra para un nivel de significancia del 95% y un límite de error del 10% fue de 95 caficultores de un total de 3787. Debido a que la lista de los beneficios se encuentra dividida por distritos y los productores a su vez se distribuyen heterogéneamente entre éstos, se determinó mediante

asignación proporcional el número de caficultores a entrevistar por distrito. De esta manera el número de productores por distrito fue igual al porcentaje que representan de la población en estudio.

El objetivo de la encuesta fue obtener información acerca de las especies arbóreas utilizadas como sombra en los cafetales, sus características, y las ventajas y desventajas de utilizarlas en el asocio. Además, estas especies fueron clasificadas como nativas y exóticas, entendiéndose por nativas las arbóreas endémicas de Centroamérica (y por lo tanto, de Costa Rica) y exóticas, aquellas especies introducidas de afuera del Istmo Centroamericano. Se determinó cuáles son los atributos claves que según los productores establecen la compatibilidad de los árboles con café. Las entrevistas, basadas en preguntas abiertas y cerradas fueron complementadas con visitas a los cafetales para corroborar la información.

En la segunda fase, el responsable del estudio asignó pesos a los atributos de las especies listadas por los productores según su importancia en la zona. Dichos pesos fueron: "1" si el atributo no era importante en la zona; "2" si el atributo era de mediana importancia; y "3" si era muy importante. Para asignar los pesos se consideraron las condiciones ecológicas y económicas que son necesarias para que un sistema agroforestal alcance altos niveles de productividad, sostenibilidad y adoptabilidad. Además, se valoraron indicadores como las condiciones climáticas y edáficas de la zona, las preferencias de los productores hacia los atributos y la crisis actual que enfrenta la caficultura Costarricense.

En la tercera fase (de escritorio), se clasificaron las especies arbóreas presentes en los cafetales, utilizando los atributos identificados en la primera fase del estudio para ordenar la información de la literatura y los productores. Se ordenaron los atributos de cada especie en una matriz donde posteriormente se le asignó el valor de "1" si la especie cumplía con el atributo; "-1" si no lo cumplía; y "0" para aquellos atributos que se cumplían parcialmente. Ejemplos de atributos que pueden cumplirse parcialmente son la velocidad del crecimiento de los árboles, el tamaño de las hojas, el tipo y densidad de la copa. En el caso de algunos atributos como la profundidad del sistema radicular, la producción de materia orgánica y la facilidad de descomposición del material vegetal vivo, no se establecieron rangos determinados, ya que en la mayoría de los casos, ni la literatura, ni los productores reportaron datos numéricos.

En la última fase del estudio, se seleccionaron árboles nativos recomendables para ser utilizados en asocio con café en esta región. Para ello, todos los árboles fueron calificados según la presencia o ausencia de los 21 atributos claves previamente seleccionados y sus respectivos pesos. Para cada especie la calificación final fue la sumatoria del producto del valor de cumplimiento de cada atributo (-1, 0, 1) por su respectivo peso (1, 2, 3):

$$\text{CALIFICACIÓN } sp1 = \sum_{i=1}^{21} (\text{valor atributo } i * \text{peso atributo})$$

Para escoger la calificación mínima que debía poseer una especie recomendable, se tomó como base la calificación máxima que obtuvo una especie de cada tipo de uso (frutal, maderable o de servicio). Luego se seleccionaron aquellas especies que obtuvieron hasta un 20% menos de calificación que la mejor especie en cada tipo de uso

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

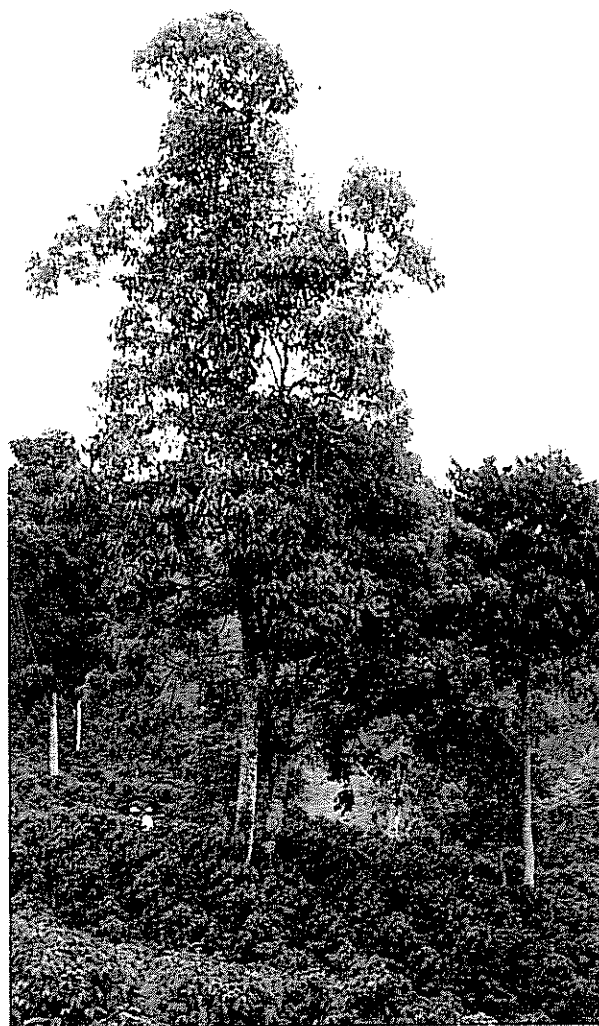
Especies de sombra más comunes

En total se encontraron 62 especies arbóreas y arbustivas (incluyendo musáceas) en los cafetales de la zona; de éstas 40 fueron consideradas "nativas" de Centroamérica y 22 exóticas. La especie más abundante en los cafetales fue el Poró (*Erythrina poeppigiana*), identificada por el 83% de los productores. Las otras especies comunes (más del 50% de las fincas) fueron *C. alliodora*, *Citrus sinensis* (naranja dulce) y *Musa* spp. (banano). Algunas de las especies que eran utilizadas por los caficultores de la zona, tales como *Musa* spp., *Citrus* spp. (cítricos), *Persea americana* (aguacate), *Mangifera indica* (mango), *C. alliodora* y *C. odorata* (cedro), también han sido encontradas en asocio con café en otras regiones de Costa Rica (Espinoza 1983; Büngel 1998) y en otros países del norte de Latinoamérica (Perfecto *et al* 1996; Podger 1999; Natural History Museum 2001).

Atributos claves de los árboles

A pesar que la mayoría de caficultores (71%) no ha recibido capacitación formal acerca del uso de árboles en cafetales, ellos utilizan su experiencia para identificar características (atributos) compatibles con el café. La mayoría de estos atributos coincidieron con los reportados en la literatura (Cuadro 1). A diferencia de lo indicado por algunos autores (Geilfus 1994; ANACAFE 1995; y Beer 1995), la mayoría de los productores (83%) no consideró como atributo clave que el árbol posea hojas pequeñas, mientras éstas se descompongan fácilmente.

Del mismo modo, a diferencia de lo que reportaron Bellow y Muschler (1999); Muschler (1999) y Fischersworing y Roßkamp (2001), un 41% de los productores consideró que la presencia de autopoda en los árboles era un atributo indiferente y de hecho un 9% prefirió árboles que no presentaran autopoda. Ellos afirmaron que es mejor realizar podas selectivas, porque de esta manera la sombra de su cafetal puede regularse según sea necesario y además, se reduce el daño sobre cafetos por la caída repentina de ramas. Con respecto al tipo de follaje, solamente 24% de los productores coincidió con algunos autores (Camargo 1971; Guerra 1976; Fournier 1979; ANACAFE 1995) respecto a que los árboles deben poseer follaje permanente para ser asociados con café.



El *Ocotea* sp (árbol más alto, centro) y *Virola koschnyii* (derecha) fueron seleccionados como promisorios para asociarse en cafetales de la zona. Foto: M Linkimer.

Los caficultores también fueron conscientes de que algunos atributos claves para la selección de especies son diferentes según el uso del árbol. Prefirieron árboles con copa angosta si el objetivo era la producción de madera y con ramas que se extiendan hacia los lados si se quisieran frutales. Del mismo modo reconocieron que otros atributos como la rectitud y altura del fuste son especialmente importantes en los árboles maderables, mientras que la capacidad de fijar N y de rebrotar fácilmente son claves para los árboles de servicio. Otro atributo importante de mencionar es la "compatibilidad" de los árboles con café. Al igual que en muchas de las publicaciones (p.ej., Beer 1987; Muschler 1999; Fischersworing y Roßkamp 2001), todos los productores prefirieron árboles compatibles con el cultivo ("que se lleven con el café"); es decir, que no causaran daños por competencia, efectos alelopáticos, o por ser posibles hospederos de insectos o patógenos. Los productores median la falta de compatibilidad a través de su experiencia; por ejemplo, han observado que cafetos que se encuentran alrededor de determinados árboles son menos vigorosos, más pequeños, muestran síntomas de alguna deficiencia (p.ej., amarillamiento), o presentan mayor incidencia de alguna enfermedad. De esta manera han logrado determinar cuáles especies de sombra son más compatibles que otras. Por ejemplo, consideraron que árboles como los pinos (*Pinus* spp.) no deberían ser utilizados en cafetales, porque poseen efectos alelopáticos sobre la vegetación que esté a su alrededor.

Con respecto al origen de los árboles, la mayoría de los productores (77%) prefirió lo que ellos perciben como "nativos" para sus cafetales. La excepción es el árbol de sombra más común en la zona, el poró (*Erythrina poeppigiana*), que muchas veces se percibió como nativo, pero más bien es naturalizado después de su introducción hace más de 100 años. Ellos creían que los árboles "nativos" son los que mejor se adaptan a las condiciones climáticas existentes en la zona y los que poseen mayor aceptación local. Es importante anotar que entre las 22 especies clasificadas como "exóticas" por la literatura, 15 fueron consideradas por los productores como "nativas", aunque ellos conocían que "nativos" son árboles propios de la zona y que "exóticos" son "traídos de afuera". Árboles que conocían desde hace muchos años y que también usaban sus padres y abuelos fueron considerados como "nativos". Aparte del poró, otros ejemplos que mencionaron fueron los cítricos, las musas y la fruta de pan (*Artocarpus communis*)

Priorización de los atributos de los árboles

De los 21 atributos seleccionados por los productores como claves para la compatibilidad de árboles con café, 10 fueron clasificados con altos valores de prioridad para la zona Atlántica, cinco obtuvieron valores de prioridad media y seis de prioridad baja (Cuadro 1). Se asignaron altos valores de prioridad a los atributos relacionados con disminuir la utilización de insumos externos y mano de obra requerida (por la reducción de los precios del café y el alza en los costos de producción), y aumentar la productividad del sistema (incorporación de materia orgánica, capacidad de fijar N, facilidad de manejo y productos secundarios, entre otros), debido a la crisis actual que enfrenta la caficultura Costarricense. Atributos como la profundidad del sistema radicular (relacionada con la competencia por nutrientes y lo cual es muy crítico por el alto costo de los insumos), también recibieron valores altos de prioridad. En cambio atributos como la fortaleza del sistema radicular, ramas y tallos, que son de mucha importancia en zonas con vientos fuertes, fueron clasificados con prioridad baja, ya que la zona Atlántica no presenta esta condición (según la opinión de los entrevistados). Aunque los productores prefieren los árboles de copa rala, también afirmaron que éste atributo puede ser modificado a través de las podas; por lo tanto, este atributo recibió peso intermedio.

Teniendo presente las limitantes del suelo de la zona (p.ej., acidez), resulta muy importante el aporte de la biomasa proveniente de los árboles. Una capacidad alta de rebrote no solamente favorece que el cafetal se encuentre sombreado en menor tiempo, sino que también pone a disposición nuevo material vegetativo que puede ser incorporado al suelo (Geilfus 1994). De este modo, cualidades de servicio de los árboles (p.ej., capacidad de soportar podas fuertes y capacidad de rebrote) fueron clasificadas con prioridad alta. El atributo de origen de los árboles (nativos o exóticos) recibió un peso intermedio, debido a que a pesar de que este estudio tenía como prioridad la selección de especies nativas, no se puede rechazar o recomendar una especie solamente por su origen.

Selección de las especies arbóreas nativas promisorias

Existe muy poca información acerca de muchas de las especies nativas, sobre todo en lo referente a arquitectura de raíces e incorporación y descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la calificación que obtuvieron las especies no es definitiva, hasta que no se

Cuadro 1. Priorización de los atributos de los árboles preferidos por los productores (n = 95) en la selección de especies para su asocio con café en la zona Atlántica de Costa Rica: (1) prioridad baja; (2) prioridad media; y (3) prioridad alta (atributos ordenados por peso y por orden alfabético).

Atributo	Opinión caficultores (%)*			Peso
	SI	NO	IND	
1 Capacidad de fijar nitrógeno (AS)	77	-	23	3
2 Capacidad de rebrote (AS)	76	4	20	3
3 Compatibilidad con el cafeto	97	-	3	3
4 Contribución con la biodiversidad y el medio ambiente	99	-	1	3
5 Facilidad de manejo	93	7	-	3
6 Incorporación de materia orgánica	95	-	5	3
7 Profundidad del sistema radicular	87	2	11	3
8 Provisión de productos secundarios	83	-	17	3
9 Rectitud de fuste (M)	100	-	-	3
10 Tolerancia a podas (AS)	75	-	25	3
11 Altura de fuste (M)	95	5	-	2
12 Densidad de copa (poseer copa rala)	79	1	20	2
13 Origen de los árboles (nativos)	77	-	23	2
14 Velocidad de crecimiento (rápido)	78	6	16	2
15 Velocidad de descomposición del material vegetativo	-	-	-	2
16 Autopoda (M)	50	9	41	1
17 Forma de copa (angosta)	33	49	18	1
18 Fortaleza de ramas y tallos (tener ramas y tallos no quebradizos)	77	3	20	1
19 Fortaleza del sistema radicular (sistema radicular fuerte)	93	1	6	1
20 Tamaño de hojas (pequeñas)	17	16	67	1
21 Tipo de follaje (permanente)	24	51	25	1

* Los números representan los porcentajes de caficultores.

SI: prefiere que cumpla con el atributo.

NO: prefiere que no cumpla con el atributo.

IND: opinan que el atributo no es importante o que no tuvo opinión respecto al atributo.

M: Atributo para maderables

AS: Atributo para árboles de servicio.

reporten los datos faltantes. De las 62 especies identificadas en los cafetales de la zona, 16 "nativas" fueron seleccionadas como promisorias al aplicar la lista de atributos claves de los productores con sus respectivos pesos. De ellas, siete fueron frutales, seis maderables y tres de servicio (Cuadro 2). Entre los atributos que hicieron sobresalir a estas especies arbóreas sobre las demás están que, en general, son de rápido crecimiento, fácil manejo, poseen copa rala y ancha, parecen ser compatibles con el cafeto y se adaptan a los suelos y condiciones climáticas de la zona de estudio. En el caso de los árboles maderables (además de la presencia de los atributos anteriores), todas las especies seleccionadas como recomendables se caracterizaron por poseer un fuste recto y alto

Algunos otros atributos claves no estuvieron presentes en todos los árboles seleccionados. Por ejemplo, de las 16 especies recomendables, ocho poseen follaje caducifolio, cuatro semicaducifolio y cuatro permanente. Sin embargo, debe tenerse presente que este atributo tuvo

una prioridad baja en la zona de estudio debido a que no es una región con época seca marcada. También el hecho de mezclar especies permite el uso de árboles que no ofrezcan todos los atributos deseables.

La selección de las especies se realizó con base en atributos claves, sin tomar en cuenta la abundancia de éstas en los cafetales de la zona. De esta manera se encontró que de los 16 árboles seleccionados, ocho fueron encontrados en menos del 10% de los cafetales de la zona. Debe tenerse presente que la selección de especies depende de su adaptación a las condiciones climáticas y edáficas. En este sentido, el marañón (*Anacardium occidentale*) no fue considerado como promisorio para la zona cafetalera Atlántica de Costa Rica (a pesar que obtuvo una alta calificación), porque requiere de épocas secas marcadas para la producción de frutos. No obstante, debería estudiarse el potencial que pueda tener esta especie en asocio con café en otras regiones que presenten las condiciones climáticas requeridas.

Cuadro 2. Especies arbóreas nativas seleccionadas como recomendables para ser utilizadas en asocio con café en la zona cafetalera Atlántica de Costa Rica.

Nombre científico	N-	Nombre común	Familia	Calificación (%)*	Comentario
Maderables					
<i>Cedrela odorata</i>	21	Cedro amargo	Meliaceae	81	Susceptible al ataque de <i>Hypsiphyla grandela</i>
<i>Simarouba amara</i>	2	Aceituno negro	Simaroubaceae	81	
<i>Cordia alliodora</i>	58	Laurel	Boraginaceae	78	
<i>Ocotea</i> sp.	4	Ira, quizarrá	Lauraceae	78	Fuente de alimento para tucanes
<i>Calophyllum brasiliense</i>	2	Cedro María	Clusiaceae	66	Copa muy densa
<i>Virola koschnyii</i>	1	Fruta dorada	Myristicaceae	66	Fuente de alimento para tucanes
Frutales					
<i>Spondias purpurea</i>	8	Jocote	Anacardiaceae	74	Algunas variedades no se adaptan a la zona
<i>Inga</i> sp.	23	Guaba	Mimosaceae	65	Material vegetativo de difícil descomposición
<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	26	Cas	Myrtaceae	61	Especie de crecimiento lento
<i>Theobroma cacao</i>	4	Cacao	Sterculiaceae	61	Susceptible a la aparición de enfermedades
<i>Byrsonima crassifolia</i>	7	Nance	Malphiaceae	55	
<i>Annona muricata</i>	20	Guanábana	Annonaceae	52	Sistema radicular superficial
<i>Spondias dulcis</i>	8	Yuplón	Anacardiaceae	52	
Servicio					
<i>Erythrina poeppigiana</i>	79	Poró	Papilionaceae	97	Arbol con muchas espinas
<i>Gliricidia sepium</i>	17	Madero negro, madre cacao	Papilionaceae	92	El forraje es importante fuente de alimento para rumiantes
<i>Inga</i> spp.	23	Guaba, cuajiniquil	Mimosaceae	81	Material vegetativo de difícil descomposición

N- es el número de productores que utiliza la especie en sus cafetales (n = 95).

* El porcentaje representa la calificación obtenida al aplicar la lista de criterios y sus pesos, relativo a la calificación máxima posible.

CONCLUSIONES

- La selección y priorización de atributos claves de compatibilidad de especies arbóreas con café, ayudan a identificar aquellas especies maderables, frutales y de servicio que mejor se adapten a los objetivos del productor, así como a los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales y económicas existentes en una región determinada.
- Los atributos claves más importantes que determinan la compatibilidad de especies arbóreas con café son los relacionados con las características de arquitectura y compatibilidad de los árboles (p.ej., forma y tamaño de copa, y arquitectura de las raíces), así como los relacionados con el establecimiento y manejo de los mismos. La mayoría de los atributos reportados en la literatura (que determinan la compatibilidad de especies arbóreas con café), coinciden con los atributos identificados por los productores de la zona.
- Aunque algunas especies (p.ej., cítricos) no fueron clasificadas como recomendables por no cumplir con algunos atributos claves, no debe descartarse la idea de utilizar estos árboles en cafetales (con un manejo adecuado), ya que proveen otros beneficios (como el valor de la fruta) que pueden brindar ganancias adicionales a los productores.
- La información existente sobre muchas especies nativas se limita más que todo a descripciones botánicas. Faltan datos sobre sus sistemas radiculares e incorporación y descomposición de materia orgánica para juzgar mejor su potencial en sistemas agroforestales.
- Se necesitan estudios acerca del comportamiento y los efectos de las especies seleccionadas sobre el café, para corroborar los efectos positivos y negativos mencionados por los productores de la zona.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ANACAFE. 1995. Manual de caficultura para el pequeño caficultor Guatemala, Asociación Nacional del Café s p
- Beer, J. 1987. Ventajas, desventajas y características deseables en los árboles de sombra para café. In Jiménez, F; Vargas, A. eds. Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales. Turrialba, CR Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ p 169-186
- Beer, J. 1995. Efectos de los árboles de sombra sobre la sostenibilidad de un cafetal. In Seminario Regional de Consulta sobre Caficultura Sostenible San Francisco Zapotitlán, Guatemala, IICA/PROMECAFE p 13-18
- Bellow, JG; Muschler, RG. 1999. Screening for promising tree associates for coffee in Central America. In Jiménez, F; Beer, J Comps. Multi-strata Agroforestry Systems with Perennial Crops: proceedings of the international Symposium Turrialba, CR CATIE/DANIDA/GTZ/ICRAF/IUFRO p 171-174.
- Büngel, J. 1998. Árboles de sombra en cafetales: resultados de investigación en COOPEPILANGOSTA R. L. - Hojancha- y COOPECERROAZUL R.L. - Los Ángeles de Nandayure-Región Nicoya / Guanacaste, Costa Rica. San José, CR. Fundación Friedrich Ebert. 71 p.
- Camargo de León, S. 1971. La sombra en el café. Revista Cafetalera ANACAFE 105: 20 - 26
- Espinoza, L. 1983. Estructura general de cafetales de pequeños agricultores. In Heuveldop, J; Espinoza, L. eds. El componente arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica. Turrialba, CR CATIE. p 72-84.
- Fischersworing H, B; Roßkamp R, R. 2001. Guía para la caficultura ecológica. 3 ed. Lima, Perú, GTZ. 153 p.
- Fournier O, LA. 1979. El cultivo del jaúl (*Alnus jorullensis*) en fincas de café en Costa Rica. In Salas, G. de las, ed. Taller de Sistemas Agroforestales en América Latina. Turrialba, CR p. 163 - 167.
- Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor: manual de agroforestería para el desarrollo rural. Turrialba, CR, CATIE/ ENDA CARIBE v1, 657 p (Serie Técnica. Manual Técnico CATIE. no.9)
- Guerra D, A. 1976. Manual técnico del cultivo del café en el Salvador: tipos de sombra más comunes. Santa Tecla. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café p 109 - 114.
- Hernández, OG; Beer, J; von Platen, H. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv Caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones comerciales con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. Agroforestería en las Américas 4(13):8-13.
- Holdridge, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA 216 p.
- Jiménez, F; Muschler, R. 2001. Introducción a la agroforestería. In Jiménez, F; Muschler, R; Köpsell, E. eds. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, CR. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ p. 1-24
- Jiménez, Q; Poveda, LJ. 1997. Lista actualizada de los árboles maderables de Costa Rica. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional. 36 p (Revista Aportes al Desarrollo Sostenible no. 2).
- Montenegro, J; Ramírez, G; Blanco-Metzler, H. 1997. Evaluación del establecimiento y crecimiento inicial de seis especies maderables asociadas con café. Agroforestería en las Américas 4(13):14-20.
- Muschler, R. 1999. Árboles en Cafetales. Turrialba, C.R. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ 139 p (Materiales de enseñanza CATIE No 45).
- Natural History Museum, UK. 2001. Coffee and biodiversity conservation in El Salvador: trees of shade forest (en línea). London, UK. Consultado 10 nov. 2001. Disponible en <http://www.nhm.ac.uk/botany/coffee/specieslists.html>
- Perfecto, I; Rice, RA; Greenberg, R; van der Voort, ME. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. Shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. BioScience 46:598-608.
- Podger, C. 1999. Café: amigo de la biodiversidad dando una mano a El Salvador. Abecafé. Abril-junio 1999: 24-29.
- Sabogal, C. 1983. Observaciones sobre la combinación de *Cedrela odorata* con café en Tabarcia-Palmichal (Cantón Puriscal). In Heuveldop, J; Espinoza, L. eds. El componente arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. p. 90-101.
- Zamora, QL. 1998. Manual de Recomendaciones para el cultivo de café. 1 ed. Heredia CR. ICAFE-CICAFE, Unidad de Producción Agrícola 195 p.

Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* o sin sombra¹

Pablo Siles Gutiérrez² y Philippe Vaast³

Palabras claves: *Coffea arabica*; conductividad estomática; fotosíntesis; sistemas agroforestales; temperatura foliar.

RESUMEN

El comportamiento fisiológico del café bajo *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y a pleno sol fue estudiado en las épocas seca y lluviosa en condiciones sub-óptimas en el sur de Costa Rica. La humedad del suelo en la época seca fue menor bajo *T. ivorensis* comparado con café bajo *E. deglupta* o a pleno sol, probablemente debido a una alta transpiración de *T. ivorensis* por sus mayores tasas de conductividad estomática en las horas del mediodía y de la tarde. La temperatura foliar del café fue generalmente superior a 27°C (por arriba del óptimo). En la mañana, la temperatura de las hojas del café bajo *T. ivorensis* fueron 4°C menores que a pleno sol, mientras que al mediodía esta diferencia fue de 2,4°C (bajo *E. deglupta* las diferencias fueron de 1,9 y 1,5°C). La tasa de asimilación neta de CO₂ de hojas de café mostró un patrón similar a pleno sol y bajo *E. deglupta*, ya que las máximas tasas se observaron en la mañana y disminuyeron a lo largo del día. Al contrario bajo *T. ivorensis*, las mayores tasas de asimilación de café se alcanzaron en las horas del mediodía debido a una Radiación Fotosintéticamente Activa (RAFA) baja. La conductividad estomática de hojas de café fue mas alta bajo *E. deglupta* que bajo *T. ivorensis* debido a una mayor RAFA y fue también mas alta que a pleno sol debido a menores temperaturas foliares. Estos resultados respaldan la decisión empírica de los agricultores de la zona en preferir *E. deglupta* en comparación a *T. ivorensis* como árbol maderable de sombra para café.

INTRODUCCIÓN

El café tiene características de una planta de sombra; bajos puntos de compensación luz y daños causados al fotosistema II por altas radiaciones (Rena *et al* 1994; Kumar y Tieszen 1980). Sin embargo, el café es cultivado bajo diferentes condiciones ambientales y prácticas culturales. Los sistemas agroforestales de café ofrecen algunas ventajas con respecto a sistemas de café a pleno sol; los árboles de sombra reducen el estrés en las plantas de

Physiological response of coffee associated with *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* or without shade.

ABSTRACT

The physiological response of coffee growing under *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* and full sun was studied during the dry and rainy seasons in sub-optimal conditions in the southern part of Costa Rica. During the dry season, soil humidity was lower under *T. ivorensis* compared with coffee below *E. deglupta* or without shade, probably due to high transpiration rates of *T. ivorensis* due to higher stomatal conductance at midday and in the afternoon. Coffee leaf temperatures were generally higher than 27°C (above optimal). In the morning, leaf temperatures of coffee under *T. ivorensis* were 4 °C lower than unshaded plants, while at noon this difference was 2.4 °C (under *E. deglupta* the differences were 1.9 and 1.5 °C). The rates of net CO₂ assimilation of coffee leaves under full sun and *E. deglupta* were similar; higher rates were observed in the morning and diminished during the day. In contrast, under *T. ivorensis*, the highest rates of coffee assimilation were reached only around noon due to low Photosynthetic Active Radiation (PAR). The stomatal conductance of coffee under *E. deglupta* was higher than that under *T. ivorensis* due to a higher PAR and it was also higher than in full sun due to lower foliar temperatures. These results support the empirical decision of coffee farmers in the zone of preferring *E. deglupta* vs. *T. ivorensis* as a timber shade tree for coffee.

café al moderar las condiciones climáticas adversas y los desbalances nutricionales. También mejoran la calidad del café (Willson 1985; Barradas y Fanjul 1986; Guyot *et al* 1996; Muschler 2001; Vaast *et al* 2002).

A pesar que el uso de árboles de sombra presenta ciertas ventajas para el café, esos árboles pueden competir por los recursos necesarios para el crecimiento como agua, luz

¹ Basado en Siles, P. 2001. Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* y sin sombra. Tesis M Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

² M Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: psiles79@hotmail.com (autor para correspondencia)

³ Profesor Investigador, CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: pvaast@catie.ac.cr

y nutrientes (Beer 1987; Willey 1975). Por esas razones, los árboles pueden reducir el rendimiento del café en ambientes óptimos y especialmente cuando las densidades de árboles asociados es demasiado alta (Galloway y Beer 1997; Muschler 1999; Tavares *et al* 1999; Viera *et al* 1999).

La influencia de los árboles de sombra sobre el café depende mucho de las condiciones de suelo y clima en cada sitio, además de las características de las especies y su manejo. No todas las asociaciones de árboles con café presentan ventajas. Las zonas en que el uso de los árboles de sombra representa mayores ventajas son aquellas que están fuera de las zonas óptimas de crecimiento para el café. Por lo tanto, en este trabajo se midió en una zona sub-óptima para la producción de café, la influencia de árboles maderables de sombra sobre las características micro-climáticas y los procesos de fotosíntesis y conductividad estomática del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la finca Verde Vigor, ubicada a 30 km al sur de la ciudad de San Isidro del General, Pérez Zeledón, Costa Rica (9°15' - 83°30'O; 700 msnm; 3853 mm año⁻¹). El suelo es un Ustoxic Palehumult con bajo pH (4,8 - 5,1) y baja fertilidad. Las mediciones se realizaron en un ensayo de *Coffea arabica* cv. Costa Rica 95, establecido entre mayo y julio de 1998, bajo sombra de dos especies arbóreas maderables: *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis*. A las parcelas con árboles se le adjuntaron parcelas a pleno sol al inicio del año 1999. El diseño utilizado fue bloques completos al azar, con tres tratamientos (sombras) y cuatro repeticiones. Cada parcela útil (432m²) estaba constituida por 12 árboles maderables y 216 plantas de café, con una línea de árboles como borde. Sin embargo, en este estudio se seleccionó un árbol maderable asociado con 18 plantas de café en cada parcela. El manejo del experimento siguió el manejo tradicional intensivo de la zona con una alta fertilización (200, 7, 92, 42, 1,5, 50 y 42 kg ha⁻¹año⁻¹ de N, P, K, Mg, B, S y B, respectivamente) y un alto uso de agroquímicos (funguicidas y herbicidas).

La radiación fotosintéticamente activa (RAFA) bajo la copa de los árboles se midió con un ceptómetro (Line Quantum Sensor, LI-COR), a una altura de 1,80 m, la cual sobrepasó la altura de las plantas de café. En cada parcela se realizó un total de 48 mediciones a diferentes distancias entre cafetos y maderables. Las mediciones fueron tomadas a mediodía durante las épocas seca (marzo) y lluviosa (agosto).

La humedad del suelo fue medida con una sonda TDR (Time Domain Reflectometry), lográndose lecturas directas de humedad a profundidades de 30 cm, donde se encuentra la mayor concentración de las raíces del café (Suárez 1953; Morales y Beer 1998).

En cada parcela se seleccionaron seis plantas de café a diferentes distancias del árbol (0,5; 2,0; y 3,2 m) para llevar a cabo las mediciones fisiológicas. La tasa de fotosíntesis neta, la conductividad estomática, la RAFA a nivel de hojas y la temperatura foliar fueron medidas con sistemas portátiles analizadores de gases (ADC-LCA3 o ADC-LCA4) y un porómetro difusivo (DeltaT-AP4). Las mediciones fueron realizadas a diferentes horarios del día (7:00 a 9:00; 11:00 a 13:00; 15:00 a 17:00) en diferentes meses del año (febrero, mayo y julio) durante periodos de 15 días. En la zona de estudio, febrero representa la época seca y del crecimiento lento de las partes vegetativas. En mayo se presenta el inicio de la época lluviosa y el brote de crecimiento vegetativo. Julio representa la época de una alta demanda de C por parte de los frutos de café en crecimiento, lo cual implica una competencia de C dentro de la planta entre los frutos y el tejido foliar en desarrollo. La conductividad estomática (gs) de las hojas de *E. deglupta* y *T. ivorensis* fue medida de la misma manera que para las hojas de los cafetos, pero solamente en la época seca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

T. ivorensis disminuyó la RAFA disponible para el café hasta 63% respecto a pleno sol durante la época seca y a solamente 28% durante la época lluviosa, debido a que se presenta un rebrote de follaje muy denso en esta última época (Figura 1A). *E. deglupta* proporciona una sombra menos variable a lo largo del año con una RAFA de 60% durante la época lluviosa y 70% durante la época seca. Beer (1987) y Muschler (1999) mencionan que en sitios sub-óptimos una sombra con niveles intermedios (entre 40 a 80%) es lo más deseable y favorece la producción del café. *E. deglupta* es una especie apreciada por los agricultores debido a su rápido crecimiento y densidad de sombra adecuada relacionada a su bajo crecimiento lateral y poca densidad de follaje (Tavares *et al* 1999). Al contrario, bajo *T. ivorensis* los cambios abruptos a lo largo del año de RAFA disponible para el café (de 63 a 28%), pueden producir daños en el sistema fotosintético de los cafetos, ya que las plantas tienen que adaptarse a diferentes condiciones de sombra.

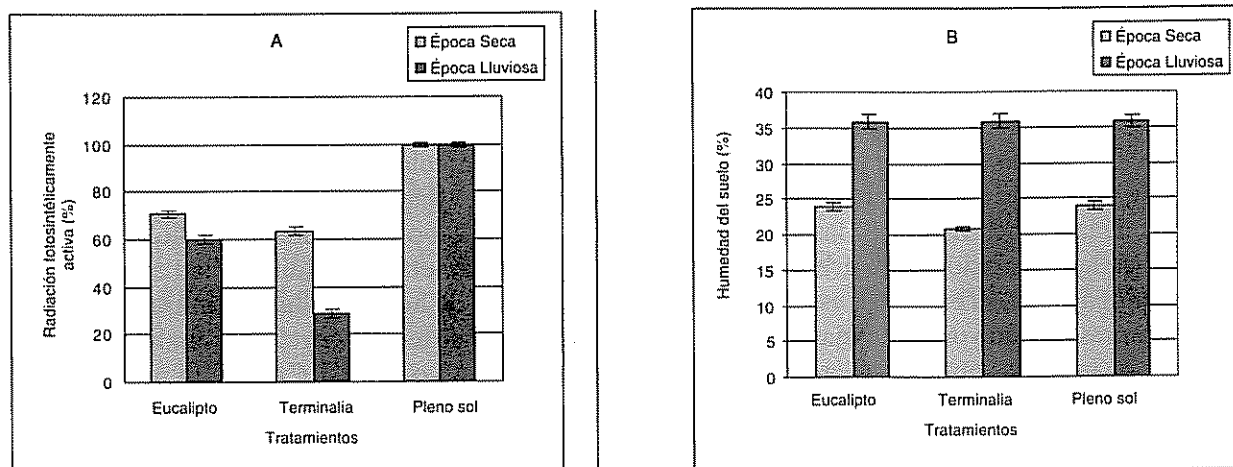


Figura 1. Porcentaje de RAFA proyectada a nivel de parcela y humedad del suelo a 30 cm de profundidad en la época seca y lluviosa, en cafetales bajo *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y a pleno sol en la finca “Verde Vigor”, Pérez Zeledón, Costa Rica (símbolos sobre barras significan desviación estándar).

Los maderables no tuvieron efecto en la humedad del suelo durante la época lluviosa (Figura 1B). Al contrario en la época seca, la humedad del suelo bajo *T. ivorensis* fue menor que bajo *E. deglupta* y a pleno sol. Willey (1975) afirma que la competencia por agua en asociaciones de árboles y cultivos es controversial, ya que los árboles pueden disminuir la evaporación del suelo y transpiración del cultivo inferior al disminuir la insolación y diferencia de presión de vapor del aire, pero por otro lado, disminuye la disponibilidad del agua en el suelo por medio de la transpiración de su propio follaje. En este estudio, la reducción de la humedad del suelo bajo *T. ivorensis* puede ser debido a que esta especie presenta altas tasas de conductividad estomática a lo largo del día, especialmente a mediodía y en la tarde, en comparación con *E. deglupta* (Figura 2). Además, en este sitio *T. ivorensis* presenta más rápido crecimiento que *E. deglupta*; es decir, produce mucho más biomasa lo cual es otra indicación que puede ser más competitiva por los recursos incluyendo el agua.

La RAFA, a nivel de hojas de café a pleno sol, alcanzó un promedio de $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ desde el inicio de la mañana y decreció marcadamente solo en las horas de la tarde hasta valores de $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 3A) debido a la nubosidad natural que se presenta en la zona a estas horas. En el café asociado con maderables se siguió el mismo patrón. Sin embargo, los valores máximos alcanzados al mediodía fueron $480 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ bajo *E. deglupta* y $380 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ bajo *T. ivorensis*. Además, el

promedio de RAFA bajo maderables en las horas de la tarde alcanzó solamente valores de $120 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Los valores presentados a pleno sol están por encima de los valores de RAFA saturante que se mencionan en la literatura como óptimos ($600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para hojas de sol; Kumar y Tieszen 1976; Cannell 1985). De igual manera, en los sistemas agroforestales, los valores de RAFA al nivel de las plantas de café son, hasta el inicio de la tarde, por arriba de los valores de RAFA saturante óptimos ($300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para hojas de sombra.

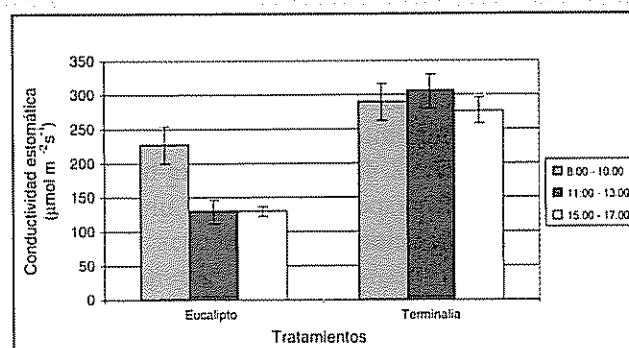


Figura 2. Variación diaria de la conductividad estomática en árboles de *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis* en la época seca en la finca “Verde Vigor”, Pérez Zeledón, Costa Rica (símbolos sobre barras significan desviación estándar).



Asociación agroforestal *Coffea arabica* (cv Costa Rica 95) y *Eucalyptus deglupta* en la zona sur de Costa Rica. Foto: P. Vaast

En las horas de la mañana, la temperatura foliar del café bajo *T. ivorensis* fue 4 °C menos que a pleno sol, mientras que al mediodía esta diferencia fue de 2,4 °C. Las reducciones de temperatura bajo *E. deglupta* fueron de 1,9 y 1,5 °C en las horas de la mañana y mediodía, respectivamente. Sin embargo, las temperaturas alcanzadas durante todas las horas son mayores de los 18 a 24°C mencionados como óptimos para la fotosíntesis de café (Kumar y Tieszen 1976); esto es una consecuencia de la baja altitud (700 msnm) de la plantación.

La tasa de asimilación neta de CO₂ de hojas de café a pleno sol y bajo *E. deglupta*, alcanzó sus mayores valores en las horas de la mañana y se redujo durante el transcurso del día, mostrando en todos los horarios valores mayores con respecto a *T. ivorensis* (Figura 4A). En estas condiciones climáticas, se puede decir que el factor limitante para la fotosíntesis de café a pleno sol y bajo *E. deglupta* es la alta temperatura. Los promedios de asimilación neta de hojas de café bajo todos los sistemas presentes fueron menores que los valores reportados en la literatura que son entre 7 a 12 μmol m⁻² s⁻¹ (Cannell 1985). Según Nunes *et al* (1968) y Kumar y Tieszen (1976 y 1980), a una temperatura superior a 24°C se presenta una caída drástica de la tasa de fotosíntesis en café. Bajo *T. ivorensis*, las mayores tasas de asimilación se alcanzaron en las horas del mediodía, indicando que la RAFA fue muy limitante para el cafeto bajo esta especie, especialmente en las horas de la tarde cuando las hojas de café presentaron una fotosíntesis neta negativa.

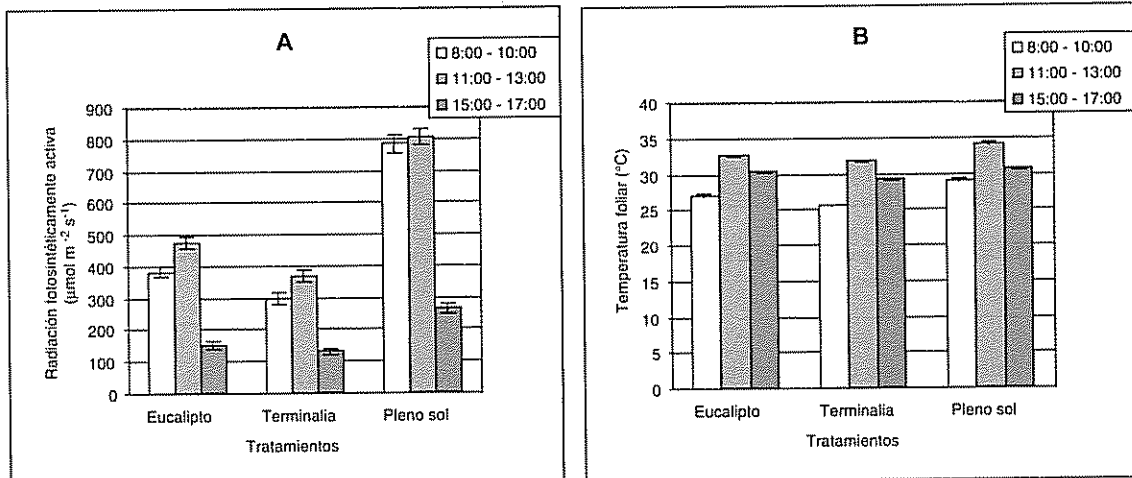


Figura 3. Variables microclimáticas de café (RAFA y temperatura foliar) bajo *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* o a pleno sol en diferentes horas del día en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica (símbolos sobre barras significan desviación estándar).



Asociación agroforestal *Coffea arabica* (cv Costa Rica 95) y *Terminalia ivorensis* en la zona sur de Costa Rica Foto: P. Vaast

La conductividad estomática del café, en todos los sistemas, alcanzó sus mayores valores en las horas de la mañana (Figura 4B). Esta disminución de la conductividad estomática, asociada con un cierre estomático, se ha reportado por muchos autores y está asociado con una alta temperatura y alta diferencia de presión de vapor al nivel de hoja (Alvim y Havis 1953; Nutman 1937; Gutiérrez *et al* 1994). Bajo la sombra moderada de *E. deglupta*, las plantas de café tuvieron una mayor conductividad estomática que plantas a pleno sol y bajo *T. ivorensis*. Además, los valores de

conductividad estomática de cafetos al mediodía bajo *E. deglupta* fueron similares a los máximos valores que se observaron solamente en la mañana bajo *T. ivorensis* y a pleno sol. Aunque la conductividad estomática de las plantas de café bajo *T. ivorensis* fue mayor a la de plantas a pleno sol, la fotosíntesis fue mayor a pleno sol. Esas observaciones ilustran que existe una baja relación entre la conductividad estomática y la asimilación neta de CO₂ en hojas de café (Gutiérrez y Meinzer 1994).

CONCLUSIONES

- En la época seca, la humedad del suelo en cafetales fue menor bajo *T. ivorensis* que bajo *E. deglupta* o a pleno sol, debido a una mayor transpiración de *T. ivorensis*. La sombra de los árboles disminuyeron la temperatura foliar de plantas de café en 2 a 4°C y la RAFA disponible para los cafetos hasta 30% (*T. ivorensis*) y 70% (*E. deglupta*). La asimilación neta fue mayor bajo *E. deglupta* y a pleno sol que bajo *T. ivorensis*, debido a valores de RAFA muy bajos a nivel de las hojas de café bajo *T. ivorensis*. Estos datos son consistentes con la decisión de la mayoría de los caficultores de la zona de preferir *E. deglupta* con respecto a *T. ivorensis* como árbol de sombra para café.

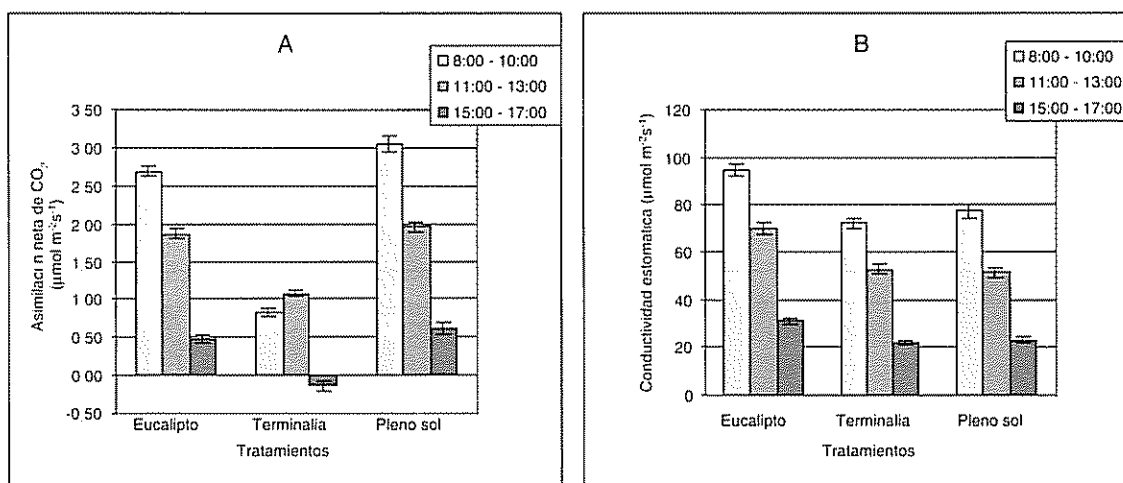


Figura 4. Variables fisiológicas de café (asimilación neta y conductividad estomática) afectadas por la interacción tipos de sombra (*Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* o a pleno sol) y horas del día en la finca "Verde Vigor", Pérez Zeledón, Costa Rica (símbolos sobre barras significan desviación estándar).

- En las condiciones sub-óptimas de este estudio, la presencia de maderables jóvenes fue benéfica para los cafetos en aliviar parcialmente las condiciones climáticas drásticas, especialmente en término de temperatura foliar. Sin embargo, no fue suficiente para permitir un buen funcionamiento fisiológico del café.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alvim, PT; Havis, JR. 1953. An improved infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. *Plant Physiology* 29: 97-98
- Barradas, VL; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica*) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* 38: 101-112.
- Beer, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa and tea. *Agroforestry Systems* 5: 3-13
- Cannell, MGR. 1985. Physiology of the coffee crop. In Clifford, NM; Willson, KC eds. *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London, Croom Helm. p. 108-134
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 168 p. (Serie Generación y Transferencia de Tecnología no. 23)
- 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* Juillet-Août 1996: 272-283.
- Gutiérrez, MV; Meinzer, FC; Grantz, DA. 1994. Regulation of transpiration in coffee hedgerows: covariation of environmental variables and apparent responses of stomata to wind and humidity. *Plant, Cell and Environment* 17: 1305-1313
- Gutiérrez, MV; Meinzer, FC. 1994. Carbon isotope discrimination and photosynthetic gas exchange in coffee hedgerows during canopy development. *Australian Journal of Plant Physiology*: 21: 207-219
- Kumar, D; Tieszen, LT. 1976. Some aspects of photosynthesis and related processes in *Coffea arabica*. *Kenya Coffee* 41 (486): 309-315.
- Kumar, D; Tieszen, LL. 1980. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture* 16: 13-19.
- Morales, E; Beer, J. Distribución de raíces finas de *Coffea arabica* y *Eucaliptus deglupta* en cafetales del Valle Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 5 (17-18): 44-48.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales Turrialba, Costa Rica, CATIE/GTZ. 139 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- Muschler, RG. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 51(2):131-139.
- Nunez, MA; Bierhuizen, FJ; Ploegman, C. 1968. Studies on productivity of coffee, 1. Effect of light, temperature and CO₂ on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Botanica Neerlandica* 17 (2): 93-102
- Nutman, FJ. 1937. Studies of the physiology of *Coffea arabica*, 1. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. *Annals of Botany* 1(3): 354-367.
- Rena, AB; Barros, RS; Maestri, M; Söndahl, M. 1994. *Coffee*. In Shaffer, B; Andersen, PC eds. *Handbook of environmental physiology of fruits crops. v. 2, Sub-tropical and tropical crops*. CRC Press. p. 101-122
- Suárez Castro, F. Distribución de raíces de *Coffea arabica* L. en un suelo franco-limoso. *Boletín técnico federación nacional de cafetaleros*. Chinniná, Colombia 1(12):1-28
- Tavares, FC; Beer, J; Jiménez, F; Schroth, G; Fonseca, C. 1999. Experiencia de agricultores de Costa Rica con la introducción de árboles maderables en plantaciones de café. *Agroforestería en las Américas* 6 (23): 17-20.
- Vaast, Ph; Génard, M; Dauzat, J. 2002. Modeling the effects of fruit load, shade and plant water status on coffee berry growth and carbon partitioning at the branch level. *Acta Horticulturae* 584: 57-62.
- Viera, CJ; Köpsell, E; Beer, J; Lok, R; Calvo, G. 1999. Incentivos financieros para establecer y manejar árboles maderables en cafetales. *Agroforestería en las Américas* 6 (23): 21-23.
- Wiley, RW. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45 (12): 791-798.
- Willson, KC. 1985. Mineral nutrition and fertilizer needs. In Clifford, NM; Willson, KC (eds) *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London, Croom, Helm. p. 108-134.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a los dueños y trabajadores de la finca Verde Vigor por su apoyo al manejar el ensayo. Además, los autores agradecen a la Comisión Europea por financiar parcialmente los equipos científicos a través del proyecto CASCA (ICA4-CT-2001-10071) y a los Dres. John Beer, Francisco Jiménez, Jean-Michel Harmand y Reinhold Muschler por sus comentarios y sugerencias.

Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica¹

Alfonso Suárez², Eduardo Somarriba³

Palabras claves: Bribri; Cabécar; inventario forestal; proyección del rendimiento.

RESUMEN

La sostenibilidad del aprovechamiento ($dap \geq 45$ cm) de madera de laurel (*Cordia alliodora*) en cacaotales y bananales se determinó mediante la predicción a cinco años del incremento neto en volumen aprovechable, con la condición de mantener por lo menos las existencias de volumen aprovechable iguales a las estimadas para el año de partida (inventario en el 2001). Se utilizó un modelo de matrices de transición tipo Usher, el cual emplea información del incremento diamétrico (medido en anillos anuales de crecimiento) y supervivencia (derivada de la distribución diamétrica). Las existencias ($m^3 ha^{-1}$), la tasa de corta ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) y el incremento ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) de madera aprovechable fueron respectivamente: 22,65; 0,86; y 1,86 en cacaotales; 12,26; 0,07; y 1,33 en bananales. Por lo tanto, el aprovechamiento es sostenible y hay un incremento neto en las existencias de madera aprovechable.

Sustainable utilization of *Cordia alliodora* timber from natural regeneration in cacao and banana plantations in indigenous communities in Talamanca, Costa Rica

ABSTRACT

The sustainability of *Cordia alliodora* timber harvesting in cacao and banana plantations was determined using a five year forecast of the increment in usable volume ($dap \geq 45$ cm) under the assumption that the initial useable volume (inventory in 2001) is maintained. An Usher type transition matrix model, based on stem diameter growth (measured in annual growth rings) and survival (derived from the diameter distribution), was used. The timber stocks ($m^3 ha^{-1}$), extraction rate ($m^3 ha^{-1} year^{-1}$) and increment ($m^3 ha^{-1} year^{-1}$) of useable timber were: 22.65; 0.86; and 1.86 in cocoa plantations; and, 12.26; 0.07; and 1.33 in banana plantations, respectively. Therefore, the utilization is sustainable and there is a net increment in the usable timber stocks.

INTRODUCCIÓN

Los indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica cultivan cacao (*Theobroma cacao*) y banano (*Musa sp. AAA*) orgánico como una de sus estrategias de supervivencia (Borge y Castillo 1997). Estos cultivos se manejan como sistemas agroforestales (SAF) multies-tratos con un dosel de sombra de especies frutales, medicinales, maderables y no maderables (Guiracochoa *et al* 2001; Trujillo 2001), que ayudan a la conservación de la

biodiversidad en las fincas (Reitsma *et al* 2001; Guiracochoa *et al* 2001).

El laurel (*Cordia alliodora*) es la principal especie maderable en las áreas agrícolas de las fincas indígenas. Representa el 40% del área basal total de los árboles de sombra de los cacaotales y el 54% en los bananales (Guiracochoa *et al* 2001). La madera de esta especie es

¹ Basado en Suárez, A. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

² M.Sc Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica Centro de Investigaciones Forestales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Apartado postal 32 Tulancingo, Hidalgo, México E-mail: alfonsosuareszislas@yahoo.com.mx (autor para correspondencia).

³ Profesor Investigador, CATIE E-mail: esomarri@catie.ac.cr

muy apreciada por los indígenas para la construcción de viviendas, botes, bateas y muebles (Borge y Castillo 1997). Del total de madera aprovechada legalmente en la Reserva Indígena Bribri, el 77% es de laurel; de este volumen el 82% se extrae de los cacaotales y bananales orgánicos.

La presión sobre las fuentes de madera está aumentando a medida que crece la población (Borge y Castillo 1997). Para las autoridades indígenas, el aprovechamiento y manejo sostenible de este recurso es una de las prioridades en materia forestal y ambiental. Sin embargo, se desconoce si los cacaotales y bananales tienen la capacidad de producir la suficiente madera para sostener la tasa actual de extracción. El objetivo de este estudio fue determinar si el aprovechamiento actual de madera del laurel en los cacaotales y bananales orgánicos de los indígenas de Talamanca es sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se realizó en las reservas indígenas Bribri y Cabécar del cantón de Talamanca, Limón, Costa Rica (9°30' N y 83°20' O; altitud sobre el nivel del mar: 40 - 400 m; precipitación anual: 2800 mm; temperatura media anual: 25,6° C). Existen dos unidades de paisaje: el valle (una coalescencia de abanicos aluviales, suelos Typic Trophent) y las laderas (constituidas de materiales sedimentarios y rocas intrusivas, suelos Oxic Palehumults y Aeritropaquepts). Las etnias predominantes son los Bribris (80%) y Cabécares (15%) de una población estimada de 10000 habitantes en el año 2000. Las actividades económicas principales son: cultivo de plátano (*Musa* sp. AAB), banano y cacao, mano de obra asalariada eventual y crianza de cerdos (Kapp 1989; Borge y Castillo 1997).



Muestra del aprovechamiento de árboles de *Cordia alliodora* en las reservas indígenas del Cantón de Talamanca, Limón, Costa Rica. Foto: Alfonso Suárez

Supuestos de sostenibilidad

Para determinar la sostenibilidad del aprovechamiento de madera de laurel se realizó por una parte un inventario forestal donde se estimó la cantidad de madera que hay actualmente (existencias) y la intensidad del aprovechamiento (tasa de corta). Con esta información como base y datos de crecimiento diamétrico obtenidos de los anillos de crecimiento anual de discos basales, se desarrolló un modelo de crecimiento para predecir la capacidad de producción de madera en el futuro (tasa de crecimiento neto).

La sostenibilidad del aprovechamiento se basó en el supuesto de mantener un volumen aprovechable (árboles de $dap \geq 45$ cm) equivalente o mayor al observado en el inventario. El aprovechamiento es sostenible si: a) hay un incremento neto en las existencias de madera ($i_v > 0$), o b) el crecimiento compensa el volumen que se aprovecha o que se pierde por mortalidad natural ($i_v = 0$). El aprovechamiento no es sostenible si las existencias de madera disminuyen, es decir que el crecimiento no alcanza a reponer el volumen aprovechado y/o muerto naturalmente ($i_v < 0$). El análisis se realizó con el incremento anual periódico en volumen aprovechable (i_v) para un periodo de cinco años (Ecuación 1).

$$i_v = \frac{V_F - V_I}{5} \quad (1)$$

Donde:

V_F es el volumen aprovechable al final del periodo.
 V_I es el volumen aprovechable al inicio del periodo.

El análisis de sostenibilidad se realizó a dos niveles: a) población total y b) parcela individual.

Inventario

La población de estudio fueron los SAF: cacaotales (plantaciones de cacao puras o con alguna combinación con banano) y bananales (plantaciones puras de banano) de indígenas Bribri y Cabécar afiliados a la Asociación de Pequeños Productores de Talamanca (APPTA). La unidad de muestreo fue la parcela de cacao y/o banano (superficie variable). Se seleccionó de manera aleatoria de la base de datos de productores de APPTA una muestra de 50 parcelas de cacao y 18 de banano (5,5% de la población).

La superficie de cada parcela se determinó mediante levantamiento topográfico (rumbos y distancias). Se midió el dap a 1,3 m de altura de todos los árboles de laurel de $dap \geq 5$ cm. Las distribuciones diamétricas se

construyeron con las frecuencias de árboles en clases de 5 cm (5-9, 10-14, etc.), identificadas con el límite inferior (5, 10, etc.); el área basal y volumen se calcularon con las marcas de clase (7, 9, etc.). Las existencias totales de madera por parcela se calcularon sumando las existencias por clase diamétrica, las cuales se obtuvieron multiplicando el número de árboles en cada clase por el volumen del árbol de diámetro correspondiente a la marca de clase. El volumen de árboles individuales fue estimado con la ecuación de Somarriba y Beer (1987) (Ecuación 2). El volumen cortado en cada parcela se estimó de mediciones del diámetro y altura de todos los tocinos de árboles cortados en 1999-2001. Todos los parámetros dasométricos se extrapolaron a una hectárea.

$$V = e^{-9,62+2,697 \ln(dap)} \quad [2]$$

En donde V es volumen del fuste con corteza en m^3 , e es la base de los logaritmos naturales y el dap está dado en cm.

Modelo de crecimiento

El rendimiento de madera de laurel se proyectó por parcela (cacaotal y bananal) para dos condiciones de crecimiento: valle y ladera. Se empleó una versión modificada del modelo de "matrices de transición tipo Úsher" (Vanclay 1994; Somarriba 2001). La estructura poblacional entre años sucesivos se proyectó iterando la Ecuación matricial 3.

$$n_{t+1} = M \cdot n_t \quad [3]$$

Donde:

n_t y n_{t+1} son vectores que denotan la distribución diamétrica (árboles ha^{-1}) entre los años sucesivos t y $t+1$. El vector inicial fue la distribución diamétrica de cada parcela en el año 2001. M es la matriz de los coeficientes de transición, los cuales indican la probabilidad de que un árbol pase o permanezca en una clase diamétrica entre un año y el siguiente.

Los coeficientes de transición incorporan los componentes de crecimiento diamétrico y mortalidad (natural y por aprovechamiento). Basado en que el laurel forma anillos anuales de crecimiento en diámetro (Tschinkel 1966), se contaron y midieron estos anillos en 15 discos basales obtenidos de árboles aprovechados en el valle y la ladera. La mortalidad se dedujo de la distribución diamétrica, asumiendo que ésta representa una curva de supervivencia (Finegan y Delgado 1997).

RESULTADOS

Características dasométricas del laurel

El área basal total del laurel (G) fue mayor en los cacaotales ($3,55 m^2 ha^{-1}$) que en los bananales ($2,17 m^2 ha^{-1}$); de estos totales, el 44% y el 42% respectivamente, corresponde a los árboles aprovechables ($dap \geq 45$ cm). Aproximadamente la mitad de los cacaotales (44%) y de los bananales (50%) tienen una baja densidad de laurel ($0 < G < 3 m^2 ha^{-1}$); sólo un 20% de los cacaotales tiene densidades altas de esta especie ($G \geq 6 m^2 ha^{-1}$). El 2% de los cacaotales y el 17% de los bananales no tienen árboles de laurel. La abundancia de árboles aprovechables fue de 6,5 árboles ha^{-1} en los cacaotales y de 4,4 árboles ha^{-1} en los bananales, con un volumen correspondiente de 22,65 y 12,26 $m^3 ha^{-1}$ (Cuadro 1). La estructura de las poblaciones de laurel en ambos SAF fue disetánea, pero presentó diferencias en la moda y diámetro de los árboles más grandes (Figura 1). Cabe señalar que para $dap \leq 15$ cm las poblaciones de laurel son similares para cacao y banano; en cambio para $dap \geq 15$ cm hay más árboles de laurel en cacao, lo cual implica que los están raleando más en banano.

Tasa de corta

La tasa de corta total ($dap \geq 5$ cm) estimada fue de 0,894 $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ en los cacaotales y 0,117 $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ en los bananales. La tasa de corta de los árboles aprovechables con respecto a la tasa total representó un 96% en los

Cuadro 1. Superficie promedio y parámetros dasométricos de la población total ($dap \geq 5$ cm) y de árboles aprovechables ($dap \geq 45$ cm) de laurel en los cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica.

Parámetro	Cacaotales	Bananales
Superficie (ha)	0,814 ± 0,148 a	0,526 ± 0,12 b
Área basal total ($m^2 ha^{-1}$)	3,55 ± 0,67 a	2,17 ± 1,01 b
Área basal aprovechable ($m^2 ha^{-1}$)	1,57 ± 0,53 a	0,92 ± 0,59 a
Número total de árboles ha^{-1}	44,93 ± 7,82a	35,1 ± 15,98 a
Número árboles aprovechables ha^{-1}	6,48 ± 2,13 a	4,4 ± 2,89 a
Volumen total ^{cc} ($m^3 ha^{-1}$)	41,14 ± 8,99 a	23,40 ± 11,56 b
Volumen aprovechable ^{cc} ($m^3 ha^{-1}$)	22,65 ± 7,89 a	12,26 ± 7,87 a
Volumen aprovechable real ($pmt^e ha^{-1}$)	5178 ± 1803 a	2802 ± 1799 a

Cifras con la misma letra en un renglón no son estadísticamente diferentes (Mann-Whitney, $p < 0,05$). ± = ancho del intervalo de confianza con $\alpha = 0,05$ ^{cc} = Volumen con corteza Volumen aprovechable real = 0,64 * Volumen total del tallo (Somarriba y Beer 1987) ^e pulgada maderera tica: $pmt = 0,0028 m^3$ (Ford 1979)

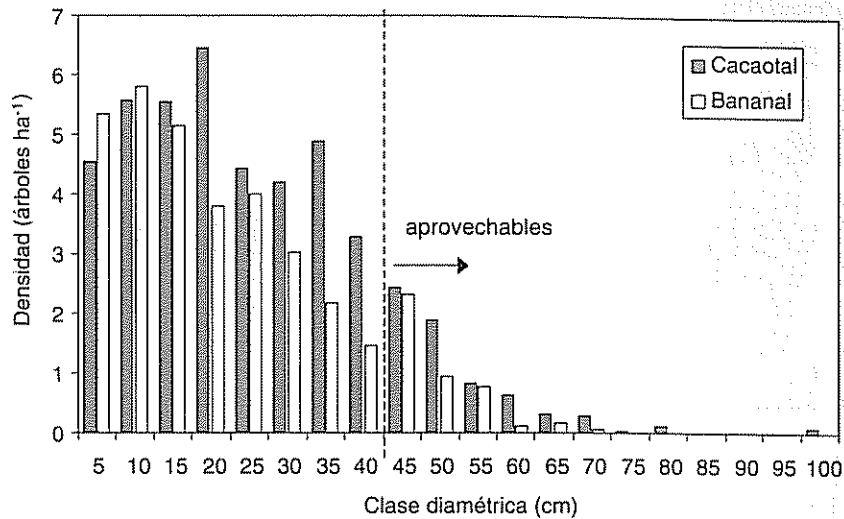


Figura 1. Distribución diamétrica de laurel en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica.

cacaotales y un 61% en los bananales. La mayor intensidad de corta se observó en los fustales jóvenes ($d_{ap} < 15$ cm) y en árboles aprovechables. Esto parece indicar de nuevo que se hacen más raleos pre-comerciales en banano.

Proyección del incremento de madera

Los incrementos de madera aprovechable proyectados por el modelo para los próximos cinco años fueron entre $1,16$ y $2,15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, siendo mayores en los cacaotales con respecto a los bananales y en el valle con respecto a la ladera (Cuadro 2). A nivel de parcelas, en la mayor parte de los cacaotales y bananales (56 a 86%, respectivamente) se obtuvieron bajos incrementos en volumen aprovechable ($0 > i_v < 3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La mayor variación en los incrementos se observó en los cacaotales del valle, lo que incluye los mayores incrementos en el 8% de las parcelas y una disminución de las existencias actuales en el 16% (Figura 2).

Sostenibilidad del aprovechamiento

Las existencias para las dos condiciones de crecimiento, manteniendo la actual tasa de corta, en promedio se incrementarán a razón de $1,86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los cacaotales y de $1,33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los bananales. Esto quiere decir que el aprovechamiento de madera de laurel es sostenible. La posible extracción anual máxima (volumen que se puede aprovechar de manera sostenible), es igual entonces al incremento periódico anual en volumen aprovechable más la tasa actual de extracción. Esto es $1,86 + 0,86 = 2,72 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los cacaotales y $1,33 + 0,07 =$

$1,40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los bananales. A nivel de parcelas individuales, el aprovechamiento es sostenible en el 86% de los cacaotales y en el 78% de los bananales.

Cuadro 2. Proyección de los incrementos volumétricos de madera aprovechable (i_v ; $d_{ap} \geq 45$ cm) de laurel por cinco años en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica.

Condición de crecimiento	Sistema agroforestal	i_v ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)
Valle	Cacaotal ¹	$2,15 \pm 0,92$
	Bananal ²	$1,51 \pm 1,24$
Ladera	Cacaotal ²	$1,58 \pm 0,66$
	Bananal ²	$1,16 \pm 0,84$

¹Incluye las categorías diamétricas de 45 a 85 cm.

²Incluye las categorías diamétricas de 45 a 75 cm.

\pm = ancho del intervalo de confianza con un $\alpha = 0,05$.

DISCUSIÓN

El aprovechamiento es sostenible a nivel de la población en general, aunque a nivel de parcelas existe una fracción importante que no tienen árboles de laurel o que están experimentando una disminución de sus existencias. Hacia el futuro la sostenibilidad del aprovechamiento podría ser posible en un menor número de parcelas; esto es debido al crecimiento demográfico de la población y el consecuente aumento en la demanda de madera, así como la disminución de la superficie de las fincas.

Los resultados de densidad, así como la distribución diamétrica y la intensidad de corta en ciertas clases de

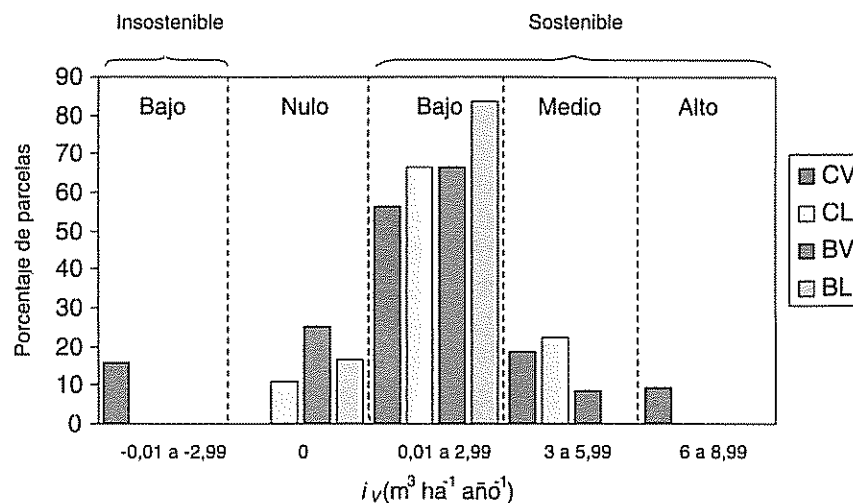


Figura 2. Sostenibilidad del aprovechamiento de madera de laurel e incremento periódico anual en volumen aprovechable (i_v) en parcelas de cacao y banano de indígenas de Talamanca, Costa Rica.
 CV y CL: cacaotales del valle y ladera, respectivamente.
 BV y BL: bananales del valle y la ladera, respectivamente

diámetro, revelan la existencia de una "silvicultura indígena" del laurel. En ella se fomenta la regeneración natural y hay un manejo de la densidad del arbolado, mediante intensos raleos en las fases de brinzal y latizal. Para asegurar la sostenibilidad del aprovechamiento de madera de esta especie, se precisa fortalecer esta silvicultura indígena mediante el apoyo con reforestación, optimización del manejo de la regeneración natural, mejoramiento genético, y el control de plagas y enfermedades.

El actual aprovechamiento sostenible de madera de laurel en los cacaotales y bananales de los indígenas de Tala-

manca, podría ser un argumento más en el marco de negociación para los productos de la finca en los mercados "ambientales" y/o "justos"; es decir, para conseguir mejores precios que permitan retornar ingresos suficientes, que incentiven a los finqueros indígenas para la permanencia y mejoramiento de estos sistemas agroforestales.

CONCLUSIÓN

El aprovechamiento de madera de laurel en los cacaotales y bananales de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica, es sostenible bajo las actuales tasas de aprovechamiento y permite un incremento neto de las existencias de madera aprovechable.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Borge C; Castillo, R 1997 Cultura y conservación en la Talamanca indígena. San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia 259 p
- Finegan, B; Delgado, D 1997. Los ambientes forestales tropicales y el ajuste de las especies vegetales. Apuntes del curso Bases ecológicas para el manejo de bosques tropicales. Turrialba, Costa Rica, CATIE 21 p
- Ford, L 1979. An estimate of a yield of *Cederela odorata* L. (Syn *C mexicana* Roem) grown in association with coffee. In: G de las Salas (ed). Proceedings of a Workshop agroforestry systems in Latin America Turrialba, Costa Rica, March, 1979. p 177-183 CATIE, Turrialba, Costa Rica
- Guiracocha, G; Harvey, C; Somarriba, E; Krauss, U; Carrillo, E 2001 Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica Agroforestería en las Américas 8 (30): 7 - 11.
- Kapp, GB 1989 Perfil ambiental de la zona baja de Talamanca, Costa Rica Turrialba, CR, CATIE-GTZ-DGF 97 p (Informe Técnico 155)
- Mann, HB; Whitney, DR. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. Ann. Math. Statist. 18:50-60
- Reitsma, R; Parrish, JD; McLarney, W 2001. The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica Agroforestry Systems 53:185-193.
- Somarriba, E 2001. *Acacia pennatula* trees and pastures, Esteli, Nicaragua Journal of Crop Production (submitted).
- Somarriba, E; Beer, J 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. Forest Ecology and Management 18(2):113-126.
- Trujillo, L. 2001 Plantas útiles de las fincas cacaoteras Bribri y Cabécar del Territorio indígena de Talamanca, Costa Rica Tesis Mag. Sc Turrialba, CR, CATIE 128 p
- Tschinkel, HM. 1966. Annual growth rings in *Cordia alliodora*. Turrialba 16(1):73-80
- Vanclay, JK. 1994 Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forest. Oxford, UK, CAB International 312 p

Selección de especies para sombra en cafetales diversificados de Chiapas, México¹

Cristina Yépez², Reinhold Muschler³, Tamara Benjamín³, Miguel Musálem⁴

Palabras claves: Árboles de sombra; biodiversidad; café (*Coffea arabica*); criterios de selección; especies nativas; selección de especies.

RESUMEN

Se estudiaron atributos de árboles utilizados por productores como criterios para la selección de especies de sombra en cafetales tradicionales en Ixhuatán y Tapalapa, Chiapas, México. Los atributos de selección de la literatura y los encontrados en este estudio se agruparon en ocho conjuntos: copa, fuste, raíz, sanidad, manejo, compatibilidad, servicios y productos. Estos grupos fueron usados para evaluar el potencial de especies arbóreas en asocio con café utilizando dos índices que reflejan las preferencias y necesidades locales de los productores: un índice de atributo (*IA*) y un índice de cluster (*IC*). Los atributos más importantes fueron: alta producción de follaje para proveer materia orgánica al suelo, sistema radicular profundo y ausencia de susceptibilidad a plagas y enfermedades que pueden provocar defoliación súbita. De las 124 especies encontradas en las plantaciones de café, 25 fueron identificadas como de mayor potencial.

Selection of shade trees within diversified coffee plantations in Chiapas, Mexico

ABSTRACT

Tree attributes used by farmers as criteria for the selection of shade trees within traditional polyculture coffee plantations were studied in Ixhuatan and Tapalapa, Chiapas, Mexico. Attributes from the literature and those reported during this study were grouped as following: crown, stem, roots, health, management, compatibility, services and products. These groups were used to evaluate the potential of tree species as coffee associates using two indices that reflect the preferences and necessities of the local producers: an attribute index (*IA*) and a cluster index (*IC*). The most important attributes were: high foliage production to provide organic matter to the soil, deep root systems and absence of susceptibility to pests and diseases which might cause sudden defoliation. Of the 124 tree species found in the coffee plantations, 25 were identified as having the highest potential.

INTRODUCCIÓN

La crisis actual del café ha afectado fuertemente la economía de miles de productores indígenas campesinos dedicados a la caficultura bajo sombra. Este es un sistema de cultivo que paradójicamente encierra un conjunto de bienes que hasta hoy no tienen un valor en el mercado. Tal es el caso de los cafetales tradicionales de México, cuya riqueza de especies nativas constituye una pieza fundamental en la conservación de la biodiversidad.

El desarrollo de conocimientos sobre especies nativas de sombra y su compatibilidad con el café, así como su importancia ecológica y económica (Galloway y Beer 1997), es un desafío frente a la alta diversidad de árboles reportada en cafetales tradicionales (Perfecto *et al* 1996; Moguel y Toledo 1999; Beaucage *et al* 1999; Soto-Pinto 2000). Diversos autores señalan una lista de atributos deseables y no deseables de las especies arbóreas para sombra de cultivos considerando características

¹ Basado en Yépez P.C. 2001. Selección de árboles para sombra en cafetales diversificados de Chiapas. Tesis M. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

² M.Sc. Agroforestería Tropical, CATIE Turrialba, Costa Rica. E-mail: crisyepez@hotmail.com (autora para correspondencia)

³ Profesores investigadores Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. E-mail: muschler@catie.ac.cr; tamara@catie.ac.cr

⁴ Investigador INIFAP, México. E-mail: mmusalem@avantel.net

específicas de competitividad o compatibilidad con el cultivo basadas en la producción de café (Beer 1987; Escamilla 1993; Geilfus 1994; Bellow y Muschler 1999; Muschler 2000). En la mayoría de los casos, la selección buscó encontrar una o dos especies para cafetales con sombra monoespecífica. Si se busca diseñar un sistema diversificado que combine una productividad aceptable de café con la conservación de la biodiversidad, la selección es una tarea más difícil.

El objetivo de este estudio fue contribuir al conocimiento sobre el componente arbóreo en cafetales diversificados y los criterios locales para su manejo, para proponer un sistema de selección de árboles para sombra en cafetales con propósitos de productividad y conservación.



Grupo de Productores de Ixhuatán, Chiapas, México
Foto: Cristina Yépez

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

El estudio se realizó en los municipios de Ixhuatán y Tapalapa en la región norte de Chiapas, México (16°55' y 18°00' N; 92°40' y 93°36' O). Esta zona fue escogida por la predominancia de sistemas tradicionales campesinos de producción de café, por su importancia biológica para la conservación y por la distribución altitudinal de la producción de este cultivo. Los cafetales de Ixhuatán se encuentran entre los 400 y 1000 msnm, con suelos luvisoles, feozem y cambisoles de textura arcillosa y poco profundos en las zonas de topografía accidentada. La vegetación dominante es selva alta perennifolia. El clima es cálido húmedo con lluvias todo el año (2000 a 2500 mm año⁻¹) y la temperatura promedio anual es de 25 °C. Los cafetales de Tapalapa se ubican entre los 800 y 1900 msnm en laderas fuertes a escarpadas con suelos poco profundos clasificados como luvisoles crómicos, litosoles y acrisoles órficos. La temperatura media anual oscila entre los 15° y los 22 °C. El clima es templado a semicálido húmedo con lluvias todo el año (1500 a 2500 mm año⁻¹), excepto en abril y mayo. Su vegetación incluye selva alta y relictos de bosque mesófilo de montaña y de pino (*Pinus* spp.), encino (*Quercus* spp.) y liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*) (FAO 1974; COPLADE 1997; Hacienda 2000; CONABIO 2000).

En ambas zonas, la actividad de sus habitantes está fundamentalmente ligada a la producción agrícola de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) para el consumo familiar. La producción de café (*Coffea arabica*) ocupa el segundo lugar en superficie cultivada y el primero en valor de la producción. La superficie promedio de las parcelas de producción de café es de 1,5 ha. Predomina *C. arabica* var. *Typica* o criollo en una densidad de 1000 a 1400 plantas ha⁻¹. El manejo de los cafetales consta de una a tres limpiezas por año, podas y recepas de los cafetos, regulación de sombra y tres cortes de cosecha de noviembre a marzo. No se utiliza ningún producto químico sintético, orgánico o natural para la fertilización del cultivo o el control de plagas y enfermedades. La mano de obra empleada para las prácticas de manejo del cultivo es de fuente familiar. Los volúmenes de producción más frecuentes están entre los 900 y 1000 kg de café pergamino ha⁻¹ año⁻¹.

Recolección de datos

En cada municipio se entrevistaron 30 productores de café, se visitaron sus cafetales y se realizó un taller participativo con los productores entrevistados. Los productores fueron seleccionados según su experiencia y

años dedicados al cultivo de café. Las entrevistas y talleres se realizaron entre marzo y junio del 2001 para documentar los siguientes aspectos: a) antecedentes del cultivo de café en el municipio; b) características generales de la parcela de café y rendimientos; c) listado de especies locales para sombra; d) listado de atributos deseables, orden de importancia y cumplimiento de atributos por especie; y e) colecta e identificación de especies y sus atributos observables. La ponderación de los atributos en orden de importancia se estableció en una escala de cero para atributos irrelevantes y de tres para atributos altamente importantes.

En los cafetales visitados se caracterizó la sombra y se identificaron las especies. La caracterización de la sombra consideró: a) localización y caracterización de la parcela de café; b) clasificación del sistema de acuerdo con Nolasco (1985) y Moguel y Toledo (1999); c) inventario de riqueza y abundancia de especies por estrato; d) arreglo y densidad de árboles y cafetos; y e) porcentaje de cobertura del dosel arbóreo utilizando un densiómetro esférico (Lemmon 1957). Las muestras botánicas (cuatro por especie) se determinaron y depositaron en el herbario de El Colegio de la Frontera Sur (ECO-SUR), en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

Análisis y construcción del sistema de selección

La información fue sistematizada en tres bases de datos para cada municipio: a) caracterización de cafetales; b) lista de especies de sombra; y c) atributos deseables y ponderación. Los datos de la caracterización de cafetales y las especies fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo, mientras que los atributos deseables fueron sometidos a un análisis cualitativo de ponderación y cuantitativo de frecuencia, y agrupados en ocho conjuntos de atributos: copa, fuste, raíz, sanidad, manejo, compatibilidad, servicios y productos.

Estos conjuntos de atributos propuestos como criterios para evaluar el potencial de especies para sombra (PES), fueron usados para generar índices de atributo (IA) y de cluster (IC) que reflejan las preferencias y necesidades locales. De acuerdo con este método de selección: a) atributo es una característica particular reconocida en la especie considerada; b) criterio es un conjunto de atributos para tomar una decisión; y c) selección es la elección o preferencia por algunas especies. En este sistema, el procedimiento de selección consiste en la evaluación de las especies por el cumplimiento de atributos y criterios ponderados que se integran en las siguientes fórmulas.

Índice de atributo (IA):

$$IA = \sum_{i=0}^{nv} \left(\frac{Vp}{n_v fr} \right)$$

Donde:

IA es el índice de importancia de un atributo que refleja las preferencias locales; **IA** puede variar entre 0 y 3. **vp** es el peso ponderado que cada productor asigna a un atributo con valores de 0 a 3; donde: 0 = nulo; 1 = bajo; 2 = medio; y 3 = alto.

n_v es el número de valores para el atributo.

fr es la frecuencia relativa, calculada con el número de productores que mencionan el atributo dividido por el total de productores entrevistados.

Índice de cluster (IC):

$$IC = \sum_{i=0}^{na} \left(\frac{IA}{n_a} \right)$$

Donde:

IC es el índice de cluster. Se utiliza para valorizar o jerarquizar un grupo de atributos usados para evaluar un árbol para sombra (p. ej., copa, fuste, raíces, etc.). El valor máximo del **IC** es 3.

IA es el índice de importancia de un atributo que refleja las preferencias locales y su valor; puede variar entre 0 y 3.

n_a es el número de atributos ponderados en el cluster o grupo de características.

Potencial de especies para sombra (PES):

$$PES = \sum_{i=0}^{nc} IC$$

Donde:

PES es el potencial de la especie para sombra. Evalúa el desempeño de cada especie en el cumplimiento de cada grupo de atributos de los ocho definidos en la clasificación de los criterios de selección. El valor máximo es 3 x 8 = 24.

IC es el índice de cluster o la jerarquía de un conjunto de atributos en la selección.

n_c es el número de clusters o grupos de características del modelo de evaluación: en este estudio ocho.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 124 especies de 32 familias botánicas como sombra en cafetales de las dos zonas de estudio: 85

en Ixhuatán y 50 en Tapalapa, con 11 especies en las dos zonas. El 90% fueron nativas y el 10% restante fueron especies introducidas o exóticas, principalmente árboles frutales. Las familias con mayor número de especies reportadas para sombra fueron Lauraceae y Leguminosae.

En Ixhuatán, la densidad promedio de individuos en el dosel de sombra fue de 252 árboles ha⁻¹. Las especies Chelel (*Inga* spp.), Laurel (sin determinar), Bojón (*Cordia* sp.), Ramón (*Brosimum* sp.), Pimienta (*Pimenta dioica*) y Chinin (*Persea schiediana*), fueron la columna vertebral de la sombra en los cafetales de esta zona por su abundancia (85% del total). En Tapalapa, el dosel de sombra tenía una densidad promedio de 181 individuos ha⁻¹, siendo las especies abundantes: Chelel (*Inga* spp.), Cacaté (*Oecopetalum mexicanum*), Guachipilín (*Diphysa robinoides*), Aguacate (*Persea americana*), Pomarrosa (*Syzygium jambos*) y Tabaquillo (*Solanum* sp.), con más del 75% del total de individuos. Se pudo apreciar que en las dos zonas la regeneración natural constituye la base del manejo de la sombra en los cafetales. Más del 90% de las especies registraron otros usos además de la sombra, como por ejemplo madera para muebles y construcción, leña y frutas.

En general la diversidad de especies de sombra reflejó la diversidad de árboles del ecosistema original de estas zonas (Miranda 1998; López 1980 y Del Amo *et al* 1992). Las especies de sombra más abundantes en estos cafetales han sido reportadas en la literatura como especies de alto valor para la conservación de aves, proveyéndoles hábitat y/o recursos (Solórzano 1995; CONABIO 2000; Del Coro y Márquez 2000). De esta manera, la función de conservación de la biodiversidad de los árboles asociados a los cafetales es complementaria a la función de sombra.

En cuanto a los atributos usados para la selección de una especie como sombra en el cafetal, se reportaron 25 en Ixhuatán, 31 en Tapalapa y 22 coincidencias en las dos zonas para un total de 34 atributos. De estos se encontraron 16 atributos importantes (con valor superior a 2,0 puntos), 10 en Ixhuatán y 15 en Tapalapa (Cuadro 1). Considerando los atributos reportados con más alto **IA** en las dos zonas de estudio, éstos podrían resumirse en tres principales: i) producir mucho follaje para incorporar materia orgánica al suelo; ii) poseer un sistema radicular profundo; y iii) no ser susceptible a plagas o enfermedades, particularmente a insectos que pueden provocar una defoliación súbita.

Se observó una asociación consciente por parte de los productores entre los criterios que aplican para seleccionar árboles y factores como las condiciones ambientales locales, situaciones temporales y el manejo local a los árboles de sombra. Lo anterior se pudo constatar en el caso de los daños ocasionados por la plaga de árboles de Chelel (*Inga* spp.) que dieron origen al criterio prioritario de no susceptibilidad a plagas, así como a la preferencia de especies de rápido crecimiento para sustituir a los árboles afectados. Este factor también influyó en el manejo de los cafetales reduciendo de manera importante las prácticas de anillamiento y tumba de árboles. Por lo tanto, los criterios de selección pueden estar sujetos a cambios ocasionados por factores externos a la especie y al atributo.

De los 34 atributos de selección encontrados, los siguientes seis reportados como criterios de selección en las dos zonas de estudio, no habían sido indicados en la literatura: a) copa de altura media a alta; b) ramas abundantes; c) hojas medianas (8 a 15 cm de ancho); d) hojas gruesas; e) hojas que al caer no se depositen en los cafetos por su tamaño muy grande o estructura en forma de gancho; y f) proveer recursos alimenticios para animales silvestres. Atributos deseables pueden estar relacionados con el criterio de minimizar costos de producción. Las variedades de café que se utilizan son de porte alto (3 a 4 m, *Typica* y *Bourbón*) y una copa de baja altura podría afectar la producción del café y demandaría un manejo más intensivo de podas o desrames. En esas condiciones, poseer una copa media o alta se convierte en un atributo importante.

Atributos como el de árboles que aportan recursos alimenticios para animales silvestres indican que la selección puede estar sujeta a otros juicios de valor por parte de los productores. En otros casos, las condiciones de manejo del cafetal establecen las pautas para la selección. En las dos zonas, los productores regulaban la sombra a través de la regeneración natural y la eliminación de los árboles viejos por anillamiento, más que a través de podas. Dado que los productores no tienen que subirse a los árboles para podarlos, el criterio de ramas libres de espinas no se consideró como atributo deseable, y atributos de capacidad de rebrote y tolerancia a la poda como criterios de selección no fueron calificados con un peso importante, lo cual indica que el manejo de los árboles influye sobre los criterios.

La suma de los pesos **IA** en cada grupo de características generó el **IC**, que indicó la importancia de cada grupo en la selección de los árboles de sombra (Figura 1).

Cuadro 1. Atributos más importantes usados por agricultores como criterios de selección para especies de sombra en Ixhuatán y Tapalapa, Chiapas, México

ATRIBUTOS DESEABLES	Índice de Atributo (IA) *	
	Ixhuatán	Tapalapa
1. Copa abierta o rala (sombra ligera y difusa)	*	3,0
2. Copa en forma de paraguas o sombrilla (extendida y estratificada)	2,4	3,0
3. Copa alta o de altura media	*	2,4
4. Alta producción de follaje (frondoso)	3,0	3,0
5. Incorporación de materia orgánica al suelo por aportación de hojas	3,0	3,0
6. Sistema radicular profundo	3,0	3,0
7. Sistema radicular no competitivo	*	3,0
8. Sistema radicular fuerte	2,4	*
9. No susceptible a plagas ni enfermedades	3,0	3,0
10. Ausencia de susceptibilidad a insectos que provoquen defoliación súbita	3,0	3,0
11. Tolerancia al estrés ambiental	*	3,0
12. Adaptación a la zona de producción (climas cafetaleros)	2,4	3,0
13. Ofrecimiento de otros servicios además de dar sombra	2,4	2,7
14. Ofrecimiento de productos como leña, madera y frutas.	2,4	2,7
15. Tallos no quebradizos (resistencia a vientos)	*	2,4
16. Ausencia de efectos alelopáticos (tóxicos para el café)	*	2,4

* El IA puede variar de 0 a 3

* El peso del atributo fue inferior a 2,0 o no fue mencionado en la zona

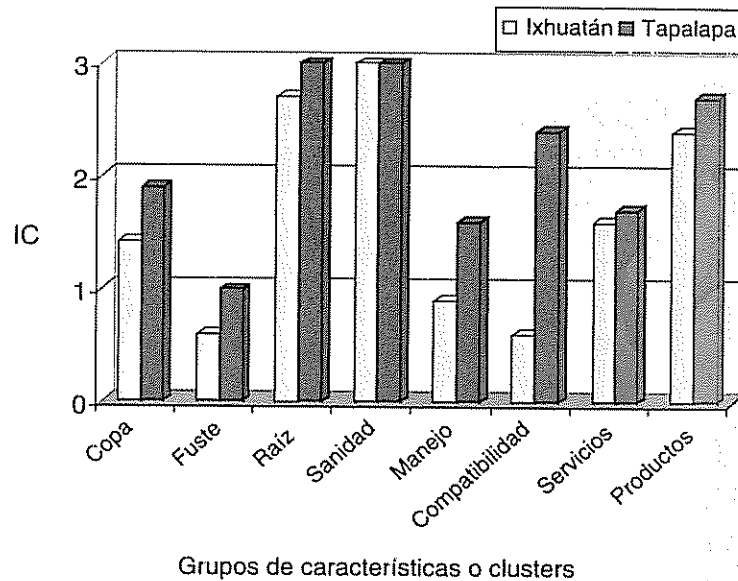


Figura 1. Índices de cluster (IC) para grupos de características como criterios de selección de árboles de sombra en Ixhuatán y Tapalapa, Chiapas, México.

Los grupos de características más importantes para la selección de especies para sombra fueron sanidad, raíz y productos. Los grupos de características de copa, fuste, raíz, sanidad, servicios y productos tenían valores similares para las dos zonas, de manera que para éstos grupos sería posible establecer una sola jerarquía de criterios; no así con los grupos de manejo y compatibilidad que recibieron valores inferiores en Ixhuatán que en Tapalapa.

Con respecto a la evaluación del potencial de las especies para sombra (PES), 18 especies en Ixhuatán y 10 especies en Tapalapa obtuvieron la calificación máxima (Cuadros 2 y 3). En el diseño de un cafetal basado en estos resultados, las especies que se indican en estos cuadros serían preferibles para la columna vertebral del dosel de sombra, mientras que las otras especies formarían parte del dosel con funciones complementarias.

Entre las especies que obtuvieron la mayor calificación PES en las dos zonas están algunas que representan un alto porcentaje de la densidad de los cafetales en Ixhuatán como Chelel (*Inga* spp.) y Laurel (sd), y en los cafetales de Tapalapa, Chelel (*Inga* spp.) y Aguacate (*Persea americana*). Esto significa que los resultados de la evaluación tienen consistencia con la selección de especies que practican los productores, y que las recomendaciones de especies para la columna vertebral de estos cafetales deberían incluir 16 especies adicionales para Ixhuatán y 8 adicionales para Tapalapa.

CONCLUSIONES

- La selección de árboles de sombra guarda una estrecha relación con las condiciones ambientales locales, las características y otros usos de las especies, así como con el manejo actual de los cafetales.

- Los criterios de selección de árboles de sombra usados por los agricultores y su jerarquía en las diferentes zonas de producción están sujetos a cambios en el tiempo y espacio, debido a factores externos como la incidencia de plagas, el mercado del café y los productos adicionales, así como la valoración subjetiva de servicios o externalidades.
- La evaluación de las especies de sombra mediante conjuntos de características permite identificar grupos de especies con funciones complementarias, lo que puede ser útil en el diseño de cafetales con altos niveles de biodiversidad. En el caso de Ixhuatán y Tapalapa, la selección de especies para sombra se basa en un conjunto de criterios locales que enfocan principalmente las características de sanidad de los árboles, de su sistema radicular y de los productos que ofrecen.

Cuadro 2. Especies de Ixhuatán con más alta aceptación como árboles de sombra en Ixhuatán, Chiapas, México.

Nombre común	Nombre científico	Otros usos
1 Aguacate	<i>Persea americana</i>	madera, leña, frutos
2 Bojón	<i>Cordia alliodora</i>	madera, leña
3 Canisté	<i>Pouteria campechiana</i>	leña, frutos
4 Castarrica	<i>Alibertia edulis</i>	madera, leña
5 Charamusco	<i>Lysiloma divaricatum</i>	leña
6 Chelel	<i>Inga latibracteata</i>	leña, frutos
7 Chelel de hoja menuda	<i>Inga</i> sp.	leña, frutos
8 Chincuya	<i>Annona purpurea</i>	leña, frutos
9 Chinin bola	<i>Persea schiediana</i>	madera, leña, frutos
10 Cuajinicuil	<i>Inga punctata</i>	leña, frutos
11 Jondura	<i>Spondias purpurea</i>	leña, frutos
12 Laurel de montaña	Lauraceae	madera, leña
13 Laurel fino	Lauraceae	madera, leña
14 Laurel hediondo	Lauraceae	madera, leña
15 Laurel leñador o corriente	Lauraceae	madera, leña
16 Laurel parecido al fino	Lauraceae	madera, leña
17 Laurel parecido al peludo	Lauraceae	madera, leña
18 Zapote mamey	<i>Pouteria sapota</i>	leña, frutos

Cuadro 3. Especies de Tapalapa con más alta aceptación como árboles de sombra en Tapalapa, Chiapas, México.

Nombre común Español/Zoque	Nombre científico	Otros usos
1 Aguacate/ Owi	<i>Persea americana</i>	madera, leña, frutos
2 Cedro/ Akuju	<i>Cedrela salvadorensis</i>	madera
3 Chinin alargado/ Ko'yon	<i>Persea schiedeana</i>	madera, leña, frutos
4 Chinin bolita/ Tsay-owi	<i>Persea schiedeana</i>	madera, leña, frutos
5 Laurel/ Pöa-joko	Lauraceae	madera, leña
6 Laurel/ Puch-joko	Lauraceae	madera, leña
7 Laurel/ Tin-joko	Lauraceae	madera, leña
8 Laurel/ Jokokujy	Lauraceae	madera, leña
9 Laurel de hoja chica/ Nömö-joko	Lauraceae	madera, leña
10 Mocosó, Palo de Moco/ So'ny, Tsoni	<i>Saurauia villosa</i>	madera, leña

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Beaucage, P; Cruz Ramirez, S; López Cruz, C 1999. Factores socio-culturales, manejo de cafetales y diversidad florística en una comunidad popoluca del Sur de Veracruz. *El Jarocho Verde* (México) 11: 35-39
- Bellow, J; Muschler, R. 1999. Screening for promising tree associates for coffee in Central America. In Jiménez, F; Beer, J Eds. Multi-strata agroforestry systems with perennial crops. Turrialba, Costa Rica, CATIE p 171-174
- Beer, JW 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa and tea. *Agroforestry Systems* 5: 3-13.
- CONABIO (Comisión Nacional para la Biodiversidad). 2000. Regiones prioritarias terrestres (en línea). Consultado el 16 agosto del 2000. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/sig/carto_disponible.cgi
- COPLADE (Comité de Planeación para el Desarrollo) 1997. Programa de desarrollo de la región norte 1995-2000. Chiapas, México. Gobierno del Estado. 189 p.
- Del Amo, S; Cárdenas AR; Anaya, AL 1992. Manual de actividades de conservación y recuperación de especies para los comités municipales. Chiapas, México. Gobierno del Estado. 174 p. (Serie Científica no. 4).
- Del Coro, M; Márquez, L. 2000. Áreas de importancia biológica para la conservación de las aves en México. México, D F 440 p.
- Escamilla, E. 1993. El café cereza en México: Tecnología de la producción. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo 116 p
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1974. FAO - Unesco mapa mundial de suelos 1:5000000. París, Francia
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE/GTZ 168 p.
- Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor. Manual de agroforestería para el desarrollo rural. V 1. Principios y técnicas. Costa Rica. ENDA CARIBE/CATIE. 337 p.
- Hacienda 2000. Agenda Estadística Chiapas 2000. Chiapas, México. Gobierno del Estado. 651 p.
- Lemmon, PE 1957. A new instrument for measuring forest overstory density. *Journal of Forestry* 55(9): 667-668.
- López, MR. 1980. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. Cuadernos Universitarios. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 116 p.
- Miranda, F. 1998. La vegetación de Chiapas. 3 ed. México, Consejo Estatal para la Cultura y las Artes de Chiapas. 596 p.
- Moguel, P; Toledo, VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13 (1):11-21.
- Muschler, RG 2000. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 139 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- Nolasco, M. 1985. Café y sociedad en México. México, Centro de Eco-desarrollo 454 p
- Perfecto, I; Rice, R; Greenberg, R; Van Der Voort, ME. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46 (8):598-608
- Solórzano, LS. 1995. Fenología de 22 especies arbóreas y su relación con la migración altitudinal del quetzal (*Pharomachrus mocinno* De la Llave 1832), en la Reserva de la Biosfera el Triunfo, Chiapas, México. Tesis Lic. México. UNAM. 108 p.
- Soto-Pinto, L. 2000. Estudio agroecológico del sistema de café con sombra en comunidades indígenas de Chiapas, México. Tesis Ph. D. México, D F, UNAM. 171 p.

Cuantificación y calificación de pasturas degradadas incorporando conocimiento local de ganaderos de la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala¹

Karen Judith Hernández², Muhammad Ibrahim³, Guillermo Detlefsen⁴, Celia Harvey³, Kees Prins³

Palabras claves: Árboles dispersos en potreros; degradación; manejo agronómico; pastos; regeneración natural; sistemas silvopastoriles.

Quantification and qualification of degraded pastures incorporating local knowledge of farmers from Calzada Mopán, Dolores, Peten, Guatemala

RESUMEN

Este estudio evaluó los factores biofísicos y socioeconómicos que están asociados con la degradación de las pasturas en la zona de la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala. Los sistemas dominantes de producción animal fueron de engorde (EN) y doble propósito (DP) con fincas de 89 vs. 46 ha y 1,29 vs. 0,89 Unidades Animales ha⁻¹, respectivamente. Las fincas de DP tuvieron un mayor porcentaje de pasturas degradadas moderadas (71 vs. 29%), pero un menor porcentaje de área de pasturas degradadas severas en comparación con los de EN (5 vs. 41%). Los ganaderos de la zona asocian la chapia, uso del fuego y herbicidas para controlar malezas con la degradación de las pasturas. No se encontró diferencias significativas en la abundancia y riqueza (19 a 23 especies) de las leñosas perennes entre pasturas en diferentes estados de degradación, a pesar que los potreros con degradación leve tuvieron 4250 vs. 1820 árboles ha⁻¹ en potreros de degradación severa. Los análisis de suelos no mostraron diferencias significativas de fertilidad entre los diferentes estados de degradación, excepto para la concentración de K que fue significativamente mayor para los potreros de degradación leve (81 mg kg⁻¹) y moderada (100 mg kg⁻¹) en comparación con las pasturas severamente degradadas (50 mg kg⁻¹).

ABSTRACT

The biophysical and socio-economic factors that are associated with pasture degradation in the district of Calzada-Mopán, Dolores, Peten, Guatemala were evaluated. The dominant livestock systems were beef fattening (BFS) and dual purpose (DPS) production with farms of 89 vs. 46 ha and 1.29 vs. 0.89 Animal Units ha⁻¹, respectively. DPS had a significantly ($p < 0.05$) higher percentage of paddocks that were moderately degraded compared to BFS (71 vs. 29%) but a significantly lower percentage of paddocks that were severely degraded (5 vs. 41%). The indiscriminate use of fire, chopping and herbicides to control weeds are the main factors that farmers associate with pasture degradation. There were no significant differences in the abundance and richness (19 to 23 species) of woody perennials between pastures in different stages of degradation although abundance of woody perennials in the lightly degraded paddocks was more than double that in severely degraded pastures (4250 vs. 1820 trees ha⁻¹). Soil fertility parameters were not significantly different between degradation states except for K which was significantly higher in the lightly (81 mg kg⁻¹) and moderately (100 mg kg⁻¹) compared to the severely (100 mg kg⁻¹) degraded pastures.

INTRODUCCIÓN

El problema básico de la falta de sostenibilidad en los sistemas de producción animal en los trópicos es la degradación de las pasturas (Toledo 1994). Desde el punto de vista de los finqueros la degradación de las pasturas puede ser definida como un deterioro en la condición o calidad de los pastos. Es el resultado de exceder la capacidad de carga para el ganado; el uso de paisajes o suelos que son inapropiados para el manejo de la ganadería; y/o el uso o manejo inadecuado de las

especies de pastos y el suelo (Szott *et al* 2000). Una opción biológicamente viable para el manejo sostenible de la ganadería en estos terrenos, son los sistemas silvopastoriles (SSP) (Martínez 1999; Russo 1994). Mediante la realización del presente estudio se buscó cuantificar y cualificar áreas degradadas de pasturas y determinar el potencial de los SSP para su mejoramiento, con base en el conocimiento local de los ganaderos de Petén, Guatemala.

¹ Basado en Hernández, K. 2001 Cuantificación y calificación de pasturas degradadas incorporando conocimiento local de ganaderos de la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala. Tesis MSc., CATIE Turrialba, Costa Rica

² M Sc en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica 2001 E-mail: cabrera_gt@yahoo.com (autora para correspondencia)

³ Profesores Investigadores, CATIE E-mails: mibrahim@catie.ac.cr; charvey@catie.ac.cr; prins@catie.ac.cr

⁴ Consultor Agroforestal, CATIE E-mail: gdetlef@catie.ac.cr

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la aldea Calzada Mopán y tres de sus caseríos: El Calabazal, Las Delicias y Agua Blanca, ubicados en el municipio de Dolores, del departamento de Petén, Guatemala (Figura 1). Estas comunidades se encuentran situadas en la parte sureste del departamento, con coordenadas 16°44' N y 89°23' O. El clima es cálido con un promedio de humedad relativa del 60% y una temperatura media de 32 °C. De acuerdo a De la Cruz (1982), se encuentra en la zona de vida Bosque húmedo sub-tropical (Cálido), con alturas entre los 200 a 300 msnm y precipitaciones de 1160 a 2000 mm año⁻¹ (Centro Maya 2001). La topografía es ondulada con un karst rellenado y denudado, donde hay una defectuosa distribución del agua y obstrucción marcada del drenaje subterráneo.

El estudio se dividió en tres fases: a) talleres de caracterización participativa; b) caracterización de sistemas de producción y conocimiento local sobre pasturas degradadas; y c) muestreo del estado biofísico del suelo, abundancia y riqueza de especies leñosas, y productividad de las pasturas.

Talleres de Caracterización Participativa

En consulta con los técnicos locales de Petén, se levantó una lista de los ganaderos del área de estudio y fueron seleccionados 10 informantes claves (10% del total) con base a los siguientes criterios: a) ser productores observadores e innovadores; b) que tuvieran muchos años de estar viviendo en el área; y c) que estuvieran dispuestos a compartir sus conocimientos. Con ellos se realizó un taller de caracterización mediante una entrevista grupal (dos grupos), utilizando la técnica del diálogo semi-estructurado (Geilfus 1998). Se buscó que respondieran interrogantes de tipo socioeconómico, ecológico y biofísico de sus sistemas de producción, su percepción sobre la degradación de las pasturas y qué características podían observarse en los diferentes estados de degradación presentes en la zona. Con base a los resultados de los talleres con los informantes claves y en consulta con técnicos locales y expertos del CATIE, se elaboró una clasificación de degradación de pasturas con los criterios utilizados para identificar cada clase (leve, moderada, severa y muy severa).

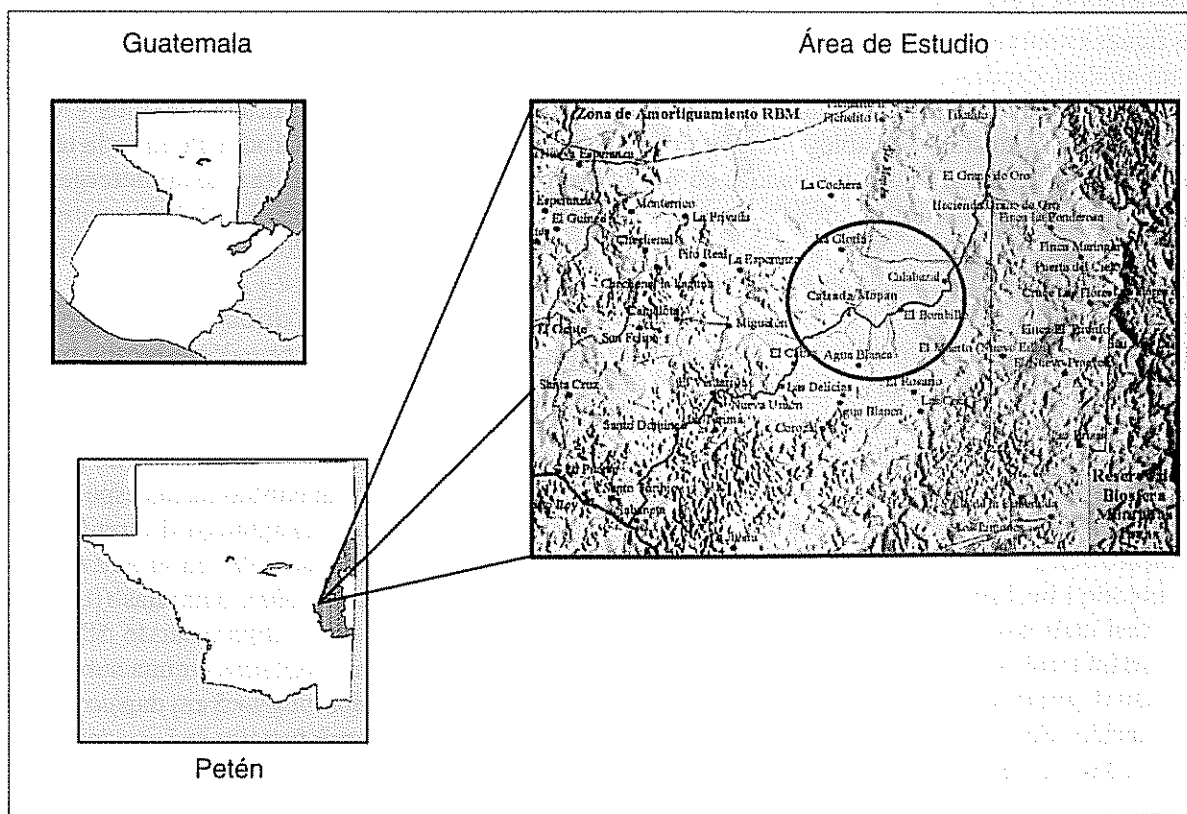


Figura 1. Ubicación del área de estudio (Calzada Mopán) en Petén, Guatemala

Mediante un taller móvil en el campo, para validar los diferentes niveles potenciales de degradación con los productores y técnicos, se les pidió su propia evaluación visual de una parcela de 0,1 ha dentro de cada uno de los 12 potreros seleccionados para tal fin. Se les pidió que clasificaran cada parcela dentro de los diferentes estados de degradación considerados por ellos. Al comparar las observaciones hechas en los potreros por los técnicos y por los productores, se logró re-definir las clases de degradación, las que fueron usadas para evaluar los potreros de los 35 productores elegidos al azar (excluyendo a los 10 informantes claves), para la encuesta de la fase recopilación de conocimientos locales.

Caracterización de Sistemas de Producción y Conocimiento Local sobre Pasturas Degradadas

Se aplicó una encuesta semi-estructurada a los 35 productores seleccionados al azar para recolectar datos biofísicos y socio-económicos que influyen en la degradación de pasturas. Además, se hizo un recorrido por cada potrero de las 35 fincas (promedio de cuatro potreros finca⁻¹) durante el cual el productor los clasificó según los diferentes estados de degradación definidos en la fase de los talleres. Para determinar qué variables de la encuesta tenían una relación directa con la agrupación de las fincas en uno de los estados de degradación, se realizó un análisis canónico discriminante. Aunado a esto, se realizó un análisis de regresión múltiple por pasos (stepwise) con esas mismas variables, para determinar cuáles de ellas estuvieron más relacionadas con los estados de degradación moderada y severa.

Estado Biofísico del Suelo, Abundancia y Productividad de las Pasturas

De la base de datos de todos los potreros que se evaluaron en las 35 fincas, se seleccionaron al azar cuatro parcelas por cada uno de los tres estados de degradación y tres tipos de topografía, con excepción del estado severo-plano, para el cual solo hubo tres parcelas (Cuadro 1). Se evaluaron las propiedades químicas y físicas de los suelos. En cada potrero seleccionado (n = 35) se delimitó una parcela circular de 1 ha, la cual se dividió en tres transectos iguales y en cada uno de ellos se tomó cinco submuestras (para un total de 15), distribuidas al azar, en los primeros 15 cm de profundidad durante la época de máxima precipitación. Se determinó la materia orgánica (MO), pH, Ca, Mg, K, Mn, P, Fe y Cu. La densidad aparente se midió por el método del cilindro (de volumen conocido) a 0-5, 5-10 y 10-15 cm de profundidad, tomando

Cuadro 1. Número de potreros sometidos a evaluaciones de estado fisicoquímico del suelo, calidad y productividad de las pasturas y observación de arbóreas, arbustivas y malezas en la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala.

TOPOGRAFÍA	ESTADO DE DEGRADACIÓN		
	Leve	Moderado	Severo
Plana	4	4	3
Ondulada	4	4	4
Quebrada	4	4	4
TOTAL POTREROS	12	12	11

tres muestras al azar de la parcela (una en cada transecto) y promediando los valores obtenidos.

La composición botánica y disponibilidad de las pasturas se estudió mediante el método del "botanal" (Mannetje y Haydock 1963). Para el muestreo de las pasturas (realizado por un observador), se dividió la parcela de 1 ha en tres transectos y se lanzó 20 veces, al azar, un marco de 0,5 x 0,5 m en cada transecto para obtener muestras visuales (un total de 60) de las especies presentes dentro del potrero. En cada oportunidad se calculó el porcentaje de especies de pastos, malezas y suelo desnudo.

Se tomó una muestra compuesta de cada potrero (n = 35) para el análisis de Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca (MS) por la técnica de Goering y Van Soest, así como para la Proteína Cruda (PC) por la técnica de Micro Kjeldahl, y para la fibra ácido detergente (FDA) y fibra neutro detergente (FDN) (Association of Official Analytical Chemistry, 2000).

Se realizó un muestreo de especies leñosas en todos los potreros seleccionados (n = 35). En cada potrero se utilizó una parcela circular de 1000 m² con diseño anidado (Camargo 1999), la cual se marcó en el centro de la parcela utilizada para las evaluaciones de pastos y suelo (Figura 2). Se hizo un conteo de las especies arbóreas y arbustivas presentes, el número de individuos de cada una y el estado de desarrollo en el que se encontraron (en el caso de las leñosas): plántulas (0,1m ≥ altura < 0,3 m) contadas en una subparcela de 50 m²; brinzales (0,3m ≥ altura < 1,5m) contados en una subparcela de 201 m²; latizales (1,5 m altura y < 5 cm dap) contados en una subparcela de 452 m²; fustales (> 5 cm dap) contados en la parcela de 1000 m². Esto permitió la recolección de datos útiles para determinar si existían especies representativas de los diferentes estados de degradación.

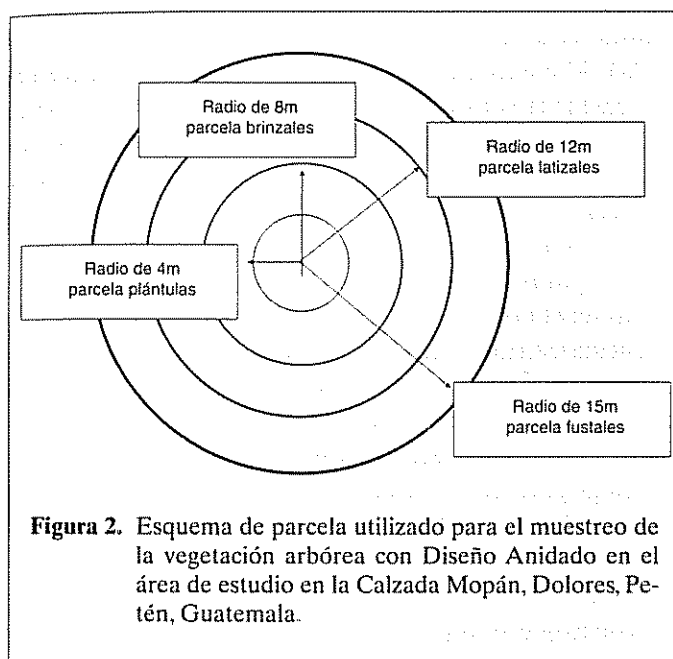


Figura 2. Esquema de parcela utilizado para el muestreo de la vegetación arbórea con Diseño Anidado en el área de estudio en la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los sistemas

Las fincas con sistema de engorde (EN) son más grandes (89 ha) que las fincas con ganado de doble propósito (DP) (46 ha). La carga animal promedio del sistema EN fue de 1,29 unidades animales (UA) ha⁻¹ (con un rango de 0,36 a 4,09 UA ha⁻¹) y la del sistema DP de 0,89 UA ha⁻¹ (0,2 a 3,5 UA ha⁻¹); no existió diferencia significativa entre EN y DP. En ambos sistemas de producción el mayor porcentaje del área total de la finca está ocupado por las pasturas especialmente en el sistema de ganado de engorde (72% EN y 60% DP), seguido por las áreas de bosque (15% EN y 16% DP) y tacotal (8% EN y 9% DP). Por último están las áreas ocupadas por el cultivo del maíz (9% DP y 1% EN), donde el porcentaje es mucho mayor en el sistema de doble propósito ($p < 0,01$).

Los resultados basados en la información brindada por los productores muestran diferencias significativas ($p < 0,001$) en el porcentaje de pasturas degradadas entre sistemas (Figura 3); en el sistema DP se observó un mayor porcentaje de degradación moderada (71%), en comparación con el sistema EN (29%), mientras el porcentaje de degradación severa fue mayor para sistemas EN (41%). El mayor porcentaje de degradación severa en EN puede estar asociado con una mayor carga animal en este sistema (Szott *et al* 2000). En DP los periodos de descanso y ocupación de las pasturas son mayores, y el ganado posee en general menores exigencias alimenticias, por lo que las pasturas sufren menos desgaste por parte del ganado

Calificación de pasturas degradadas

En el taller de caracterización participativa se evaluó los criterios e indicadores que los productores utilizan para describir a las pasturas degradadas. Esta información se comparó con los criterios e indicadores establecidos por el técnico (Cuadro 2). Contrario a lo que se había determinado en la metodología del estudio sobre la existencia de cuatro estados de degradación, los productores en el taller mencionaron solo tres: leve, moderado y severo. El cuarto estado, definido en la metodología como muy severo, no fue considerado por los productores participantes del taller para definir potreros muy degradados, sino que las características del mismo las asociaron a los guamiles*.

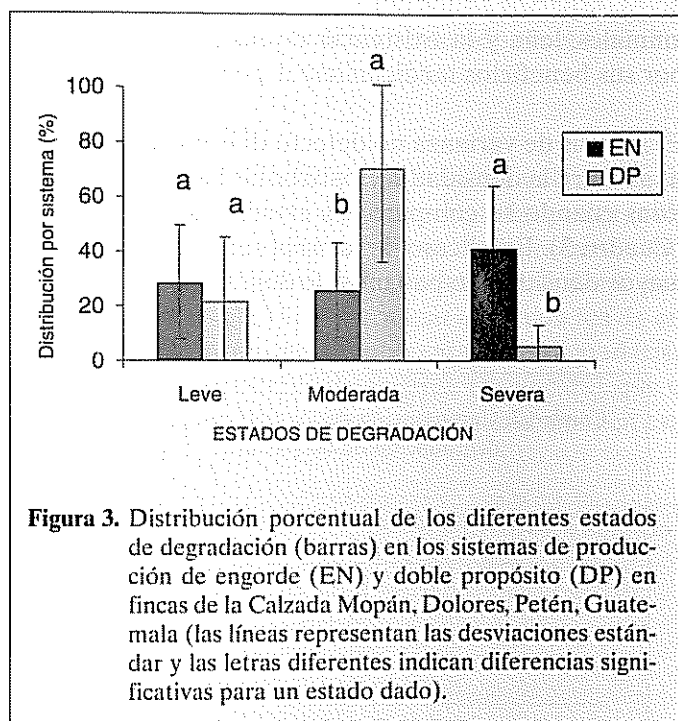


Figura 3. Distribución porcentual de los diferentes estados de degradación (barras) en los sistemas de producción de engorde (EN) y doble propósito (DP) en fincas de la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala (las líneas representan las desviaciones estándar y las letras diferentes indican diferencias significativas para un estado dado).

Del análisis discriminante se obtuvo una variable canónica, la cual explicó en un 94% la distribución de los datos. Los resultados mostraron que la edad del productor, y el chapiar, quemar y aplicar herbicida a los terrenos, tienen una relación positiva con el aumento de la degradación en las pasturas. Por el contrario, el capital fijo de la finca, el área de guamiles, el sembrar la semilla de la pastura a través de un ciclo de maíz, el área de pastura sembrada en forma directa y el área de potreros limpiada sólo con la aplicación de herbicida, poseen una relación inversa con la degradación, por lo que el aumento en alguna de ellas está asociado con una disminución en la degradación de las pasturas. Se encontró, como era de esperar, que la carga animal tuvo un efecto positivo sobre el modelo de regresión; a mayor número

* Término generalmente utilizado en Guatemala para llamar a los sitios en barbecho

de UA presentes en el potrero, la degradación era mayor. Si se utilizan adecuadamente estas prácticas de manejo, la degradación de las pasturas puede ser disminuida y hasta erradicada.

Inventario de leñosas y herbáceas encontradas en los dos sistemas de producción

En el área de estudio se cuantificó la presencia de 35519 individuos de 21 especies de herbáceas y arbustivas consideradas como malezas, y 9000 individuos de 29 especies arbóreas dispersas en potreros (Cuadro 3), todos encontrados dentro de parcelas de 0,1 ha⁻¹ (35 parcelas; área total = 3,5 ha). El 100% de los productores reportó que los usos más comunes dados a los árboles dispersos en los potreros fueron sombra para los animales, leña y la existencia de herbáceas utilizadas por sus beneficios medicinales.

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre la densidad de los árboles ha⁻¹, ni de las malezas cuando se comparó los estados de degradación (Cuadro 3). En el caso de las arbóreas, se observó una mayor densidad en pasturas de degradación leve com-

parada con las de degradación severa (diferencia del 40%). Al comparar la riqueza de especies en los potreros en los tres estados de degradación, tanto en arbóreas como en malezas, no se encontró diferencias significativas, debido a la alta variación que existe entre parcelas.

Al comparar las especies de árboles y malezas mencionadas en el taller de caracterización participativa y en la encuesta como característica de cada estado de degradación, se encontró muy pocas coincidencias. Entre ellas: *Ficus* spp., *Ceiba pentandra* y *Guazuma ulmifolia* para el estado de degradación leve; *Muntigia calabura* y *Andropogon leucostachyus* para el estado de degradación moderado; y *Byrsonima crassifolia* y *Sida* spp. para el estado de degradación severo. *Spondias mombin* y *Lonchocarpus guatemalensis* fueron las únicas especies arbóreas que se reportaron para potreros con el estado de degradación moderado, tanto en el campo, como en la encuesta. Las especies de malezas que mostraron relación entre lo observado en el campo y las respuestas de la encuesta fueron *Mimosa pudica* y *Sida* spp., ubicándose en el estado de degradación severo.

Cuadro 2. Comparación de los criterios utilizados por el técnico y el productor para describir los diferentes estados de degradación de las pasturas en la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala.

DEGRADACIÓN	CRITERIOS DADOS POR EL TÉCNICO	CRITERIOS DADOS POR EL PRODUCTOR EN EL TALLER
Leve	Pastura sana con más del 85% de cobertura de pasto y 5-15% de malezas herbáceas.	Pastura sana con más del 75% de cobertura (más de tres cuartos del potrero) y 0-25% de malezas herbáceas. Pasto fuerte, provee suficiente alimento al ganado. Suelo con buena filtración, provisto de suficientes nutrientes.
Moderada	Pérdida de vigor y salud de la pastura con 55-85% de cobertura e invasión de un 15-25% de malezas herbáceas y arbustivas. Herbáceas predominantes en el pasto natural.	Pastura débil, sin nutrientes y enferma. 50 – 75% de cobertura del pasto (entre la mitad y tres cuartos del potrero). Invasión de malezas herbáceas y arbustivas en un 25-50% (entre un cuarto y la mitad del potrero). Suelo desnudo erosionado y compactado.
Severa	Entre 25-55% de cobertura del pasto. 25-35% de malezas herbáceas y arbustivas. Aparecimiento de vegetación secundaria menor a 1 m de altura. Suelo erosionado, compactado.	Cobertura del 25-50% de pasto (desde un cuarto hasta la mitad del potrero). Malezas herbáceas y arbustivas en un 50-75% (entre la mitad y tres cuartos del potrero). Aparecimiento de vegetación secundaria menor a 1 m de altura. Suelo sin nutrientes, muy compactado y erosionado.
Muy Severa (guamil)	Menos del 25% de cobertura de pasto u ocupación total del área por pasto natural. Más del 35% de malezas herbáceas. Especies de bosque secundario mayores a 1 m de altura.	Potreros abandonados, cubiertos por vegetación de bosque secundario.

Estado biofísico del suelo y productividad y calidad de las pasturas

Los valores de Fe (con un coeficiente de variación significativo) fueron mayores en sitios con menos pendiente (Cuadro 4). En contraste, el Ca y el Mg aumentaron su valor conforme la pendiente se hizo mayor. El K se vio afectado negativamente por la degradación.

Se llevó a cabo un análisis canónico discriminante con el afán de identificar cuáles variables físico-químicas del suelo, y de producción y calidad de las pasturas, estaban más relacionadas con los diferentes estados de degradación. Se obtuvo una variable canónica, la cual explicó en un 79% la variabilidad de los datos. Las variables del suelo de mayor peso fueron el Ca, el porcentaje de MO y el Mg (relacionadas con los efectos que causa la lixiviación sobre el suelo) y la densidad aparente de 0-5 y 5-10 cm de profundidad (que tiene relación con la compactación del suelo). Las únicas variables de calidad y producción de las pasturas que tuvieron una relación importante fueron la producción de MS (kg ha⁻¹), y los contenidos de fibra cruda (FC) y MS.

Se practicó un análisis de regresión múltiple para los potreros con degradaciones moderada y severa. El modelo obtenido fue significativo (p<0,05) al utilizar las variables Ca, Mg, Cu, Densidad Aparente, PC y FDA, explicando un 65% de la variabilidad.

$$\begin{aligned} \text{Área de degradación (\%)} = & -1165,04 + 7,7 \text{ Calcio (Cmol kg}^{-1}) \\ & - 9,37 \text{ Magnesio (Cmol kg}^{-1}) + 121,6 \text{ Cu (Cmol kg}^{-1}) \\ & + 1,05 \text{ densidad aparente del suelo (gcm}^{-3}) \text{ a 5-10 cm de profundidad} \\ & + 13,51 \text{ PC (\%)} + 3,86 \text{ Fibra Detergente Ácida (\%)} \end{aligned}$$

El Ca, Cu, porcentaje de PC, Fibra Detergente Ácida y densidad aparente del suelo a 5-10 cm de profundidad, mostraron relaciones positivas con respecto a los aumentos en la degradación (el aumento en alguno de ellos fue asociado con una mayor degradación de los potreros). En el caso del Mg, éste presentó un efecto inverso (una disminución de su contenido en el suelo fue asociada con mayor degradación).

CONCLUSIONES

- Los sistemas de producción animal en el área de estudio influyen en la degradación de las pasturas observando un mayor porcentaje de degradación moderada en los sistemas de producción de doble propósito (71 vs 29%), en comparación con los de engorde, pero un mayor porcentaje de degradación severa en el sistema de engorde (41 vs. 5%), que se puede relacionar a una mayor carga animal en este sistema.

Cuadro 3. Abundancia y riqueza de especies de árboles y malezas (incluye herbáceas y arbustivas) en los potreros de la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala (parcelas de 0,1 ha).

ESTADO DE DEGRADACIÓN	# PARCELAS (0,1 ha)	ÁRBOLES		MALEZAS	
		DENSIDAD (individuos ha ⁻¹)	RIQUEZA (# especies ha ⁻¹)	DENSIDAD (individuos ha ⁻¹)	RIQUEZA (#especies ha ⁻¹)
Leve	12	4250 (332,2)	23	11737 (6718,4)	18
Moderada	11	2930 (283,1)	20	11620 (9626,9)	19
Severa	12	1820 (165,6)	19	12162 (10608)	19

No hubo diferencias significativas (p<0,05) Valores en paréntesis representan desviaciones estándar.

Cuadro 4. Comparación de medias de los elementos del suelo con diferencias significativas (p<0,05), según los diferentes estados de degradación y topografía de potreros en la Calzada Mopán, Dolores, Petén, Guatemala.

ELEMENTO	TOPOGRAFÍA			DEGRADACIÓN		
	Plana	Ondulada	Quebrada	Leve	Moderada	Severa
Fe(mg kg ⁻¹)	10,8 (11) ^a	5,6 (6,7) ^{ab}	1 (0,2) ^b	--	--	--
Ca(Cmol kg ⁻¹)	12,1 (6,7) ^b	14,3 (6,2) ^b	19 (0,9) ^a	--	--	--
K(mg kg ⁻¹)	--	--	--	81 (10) ^a	100 (20) ^a	50 (30) ^b
Mg(Cmol kg ⁻¹)	2,9 (1,8) ^b	5,4 (3,4) ^a	6,1 (3) ^a	--	--	--

Valores entre paréntesis indican la desviación estándar Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05).

- Los productores de la zona de estudio identifican la chapia, uso del fuego y herbicidas para manejar el potrero como las causas principales para degradación de las pasturas.
- A pesar que los valores de densidad de árboles del estado severo (1820 árboles ha⁻¹) representaron el 43% de los valores de densidad del estado leve (4250 árboles ha⁻¹), no se encontró diferencia significativa entre los mismos, debido probablemente a la gran variabilidad existente entre parcelas, lo cual

sugiere la necesidad de un mayor número de parcelas a utilizar en estudios similares.

- Entre los elementos del suelo evaluados en función de los estados de degradación, solo hubo diferencias significativas para el caso del K, el cual presentó un valor menor para el estado severo, lo cual puede indicar que la lixiviación de este nutriente puede estar relacionada directamente con el grado de degradación de las pasturas en esta zona.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Association of Official Analytical Chemistry. 2000. Official methods of the AOAC 17 ed. Washington, D.C. 1 disco compacto, 8 mm
- Camargo G, JC. 1999. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural de *Cordia alliodora* ((Ruiz y Pavón) Oken) en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE 127 p
- Centro Maya 2001. Estudio técnico de El Chal. Diagnóstico del status del hato lechero en áreas cercanas a El Chal, Dolores, Petén. Petén, Guatemala, Centro Maya 80 p
- Cruz, J de la 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala. Instituto Nacional Forestal. 41 p.
- Geilfus, F 1998. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. El Salvador, IICA/GTZ 208 p
- Hernández C, KJ 1997. Caracterización de especies arbóreas y arbustivas nativas con potencial para la alimentación de bovinos en El Petén. Tesis Lic Zoot. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia 66 p.
- Hernández D, S. 1993. Evaluación del potencial forrajero de especies leñosas nativas de bosques secundarios en el Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE 96 p.
- Herrera R, OE. 1995. El follaje de Chaperno (*Lonchocarpus guatemalensis* Benth) como complemento de dietas de Napier (*Pennisetum purpureum* Schum) en el consumo voluntario y producción láctea de caprinos. Tesis Lic Zoot. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 31p
- Mannetje, LT; Haydock, KP. 1963. The dry-weight-rank method for the botanical analysis of pasture. Journal of the British Grassland Society 18: 268-275
- Martínez, L. 1999. Potencial de los sistemas agropastoriles en el manejo de suelos degradados en Santa Cruz, Bolivia. In Sistemas Agropastoriles en Sabanas Tropicales en América Latina. E.P. Guimaraes; J. I. Sanz; I. M. Rao; M. C. Amézquita; E. Amézquita Eds. Cali, Colombia, CIAT/EMBRAPA. p. 156-162
- Russo, R. 1994. Los sistemas agrosilvopastoriles en el contexto de una agricultura sostenible. Agroforestería en las Américas 1(2):10-13
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hanger: cattle, pasture, land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE 71 p. (Serie Técnica Informe Técnico/CATIE no. 313)
- Toledo, JM. 1994. Livestock productions on pasture: parameters for sustainability. In Animal agriculture and natural resources in Central America: strategies for sustainability; Proceedings of a Symposium/Workshop J Homan. Ed. San José, Costa Rica p 125-136

Evaluación del impacto de los sistemas silvopastoriles sobre la recuperación de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura en Costa Rica¹

Cristóbal Villanueva², Muhammad Ibrahim³

Palabras claves: Almacenamiento de carbono; densidad aparente del suelo; contenido de nitrógeno; resistencia a la compactación.

RESUMEN

Fue evaluado el impacto del sistema silvopastoril (SSP) *Alnus acuminata* (jaúl) con *Pennisetum clandestinum* (kikuyú) en la recuperación de suelos de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono. Los sistemas fueron pasturas en monocultivo (PM); pasturas con *Alnus acuminata* de dos años (SSP2); con *A. acuminata* de tres años (SSP3); y con *A. acuminata* de cuatro años (SSP4). La densidad aparente, la resistencia a la penetración y el N total del suelo, además del secuestro de C, fueron mayores en los SSP en comparación con las PM y mejoraron conforme aumentó la edad de los árboles.

INTRODUCCIÓN

En América Central, muchas laderas se han erosionado a causa del sobrepastoreo (Pezo *et al* 1992) y la consecuente incapacidad de las pasturas de mantener un grado aceptable de cobertura a lo largo del año a causa de un manejo inadecuado; p.ej., alta carga animal, largos periodos de ocupación y cortos periodos de descanso en toda época. Esta situación ha provocado que más del 50% de las tierras bajo pasturas se encuentren en un estado avanzado de degradación (Szott *et al* 2000). Al conjugar niveles significativos de erosión en suelos con una gran superficie empastada se pueden dar casos donde

Evaluation of the impact of silvopastoral systems on soil recovery in degraded pastures and on carbon sequestration in high altitude dairy cattle farms in Costa Rica

ABSTRACT

The impact of the silvopastoral systems (SPS) *Alnus acuminata* with *Pennisetum clandestinum* on the recovery of degraded pasture soils and its contribution to C sequestration was evaluated. The systems were monoculture pastures (MP); pastures with two year old *A. acuminata* (SPS2); with three year old *A. acuminata* (SPS3); and with four year old *A. acuminata* (SPS4). Bulk density, resistance to penetrometer, total N and soil C were higher in the SPS compared to the MP, and improved with the age of the trees.

este componente sea la principal fuente de sedimento en una cuenca (Kaimowitz 1992).

Alnus acuminata es una especie leñosa, nativa de las partes altas de Costa Rica (1400 – 3200 msnm). Esta especie, que no es leguminosa, posee la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (40 a 320 kg ha⁻¹ año⁻¹) en simbiosis con el actinomiceto *Frankia alni* y cuenta con otros atributos benéficos, como establecerse fácilmente en sitios erosionados, colonizar en suelos sueltos, como los originados por derrumbes o la construcción de carreteras

¹ Basado en Villanueva C 2001. Ganadería y beneficios de los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del río Virilla, San José. Costa Rica. Tesis M Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

² M Sc. en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: cvillanu@catie.ac.cr (autor para correspondencia)

³ Profesor Investigador, CATIE. E-mail: mibrahim@catie.ac.cr

(Russo 1990). Estas cualidades la convierten en una especie apropiada para la regeneración de suelos degradados.

El propósito del presente estudio fue conocer la influencia del sistema silvopastoril *A. acuminata* con *P. clandestinum* sobre la densidad aparente, resistencia a la penetración del suelo y N total en suelos con uso tradicional en actividades ganaderas; así como también, determinar la capacidad de secuestro de C del sistema abajo del suelo y en el volumen total de madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica: 9°57'30" a 10°05'00" N y 83°54' 00" a 84°05'00" O; precipitación anual entre 2000 y 3400 mm; altitud entre 1500 y 2500 msnm; temperatura entre 16 y 18 °C; y humedad relativa entre 83 y 88%.

De la base de datos del proyecto Plan de Mejoramiento Ambiental de la cuenca alta del río Virilla (PLAMA VIRILLA) fueron seleccionadas las edades de plantaciones de *A. acuminata* de dos (SSP2), tres (SSP3) y cuatro años (SSP4), en pasturas de *P. clandestinum*, considerando tres fincas para cada una de las edades, dado a que fue el número máximo encontrado para las edades de tres y cuatro años. Las densidades promedios para cada una de las edades fue de 711, 889 y 667 árboles ha⁻¹, respectivamente; derivadas de una densidad inicial de 1111 árboles ha⁻¹. Así mismo se eligieron tres fincas al azar para conformar el grupo de parcelas con pasturas en monocultivo (testigo). Éstas fueron tomadas de la base de datos de fincas lecheras de la zona, existente en el Centro Agrícola Cantonal de Coronado.

Las pasturas con árboles de *A. acuminata* están sujetas a pastoreo por terneras de lechería (menores de 12 meses de edad), con una carga animal promedio de 0,75 unidades animales (UA) ha⁻¹. Dicha situación reduce daños físicos a los árboles y la compactación al suelo. Las pasturas en monocultivo utilizan una carga animal promedio de 2,63 UA ha⁻¹. Esta última carga animal fue la vigente en las pasturas arboladas antes de destinarla a la siembra de *A. acuminata*. Por lo tanto, los resultados obtenidos son el reflejo de la presencia de árboles y/o carga animal.

Con respecto a la ubicación y tamaño de las parcelas, se encontró que las pasturas arboladas con *A. acuminata* presentaron áreas entre 5 y 10 ha. Por lo tanto, fue elegida una parcela de 2 ha en el sector donde se identifi-

có a la mayor parte de la población de árboles con desarrollo uniforme. Esta área fue la utilizada para los muestreos de suelos y medición de árboles. Igualmente en las fincas con pasturas en monocultivo, el área elegida (2 ha) fue con base a criterios de pasturas degradadas y suelos erosionados, características que predominaron en los suelos reforestados. Los finqueros señalaron que estas conforman las principales áreas destinadas al establecimiento de *A. acuminata* en conjunto con el PLAMA VIRILLA.

La densidad aparente (DA) y la resistencia a la penetración (RP) se determinaron en la capa superficial del suelo (0-20 cm) en tres puntos seleccionados al azar dentro de la parcela. Para cada parámetro fue tomada una muestra por punto a nivel del tercio medio del perfil de muestreo. La DA (g cm⁻³) se determinó por el método del cilindro de volumen conocido. En el caso de la RP (kg m⁻²) fue utilizado el penetrómetro manual de bolsillo, realizando dicha medición en una calicata de 20 x 20 cm preparada con el cuidado de no compactar el punto de muestreo. Así mismo, se determinó la pendiente (%) y altitud (msnm) de la parcela de muestreo por medio del hipsómetro Suunto y un altímetro de reloj, respectivamente. El N total en el suelo (NT) se determinó a nivel de dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Para ello se tomaron al azar dentro de cada parcela 15 submuestras de suelo, con las cuales se conformó una muestra compuesta de 500 g de suelo (Henríquez *et al* 1995). La determinación del porcentaje de N fue por el método del semi micro Kjeldahl.

El C almacenado en el sistema se estimó del C orgánico en el suelo (COS) y el C en el volumen total de madera de *A. acuminata* (CVOLTM). El COS se determinó en tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) por medio del método Walkley y Black. Para este propósito se utilizaron las mismas muestras consideradas para la determinación de NT más la inclusión del estrato 40-60 cm de profundidad. Para el cálculo del COS se utilizó la fórmula siguiente:

$$\text{COS} = A * P * \text{DA} * C$$

Donde:

COS= C almacenado (t C ha⁻¹).

A= unidad de superficie (m²).

P= profundidad (m).

DA= densidad aparente del suelo (t m⁻³).

C= % de C orgánico en el suelo.

El C almacenado ($t\ ha^{-1}$) y fijado ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$) en el volumen total de madera del tallo de *A. acuminata* (no incluye ramas y raíces) se determinó con la herramienta MIRASILV (Ugalde 2001). Este software requirió la información de las variables diámetro a la altura del pecho (dap), altura total (hT), peso específico (PE) y la fracción de C. Para la obtención de las variables dap y hT, se establecieron dos parcelas en la misma área usada para muestreo de suelos, con un tamaño individual de $300\ m^2$, en cada una de las fincas que contienen pasturas con *A. acuminata*. Las citadas variables fueron obtenidas por medio de una cinta diamétrica e hipsómetro Suunto, respectivamente. El peso específico de la madera utilizado fue de $0,38\ g\ cm^{-3}$ (Reyes *et al* 1992); con respecto a la fracción de C, dado a que no se dispone del dato específico de *A. acuminata* se utilizó el valor de 0,50 (Brown y Lugo 1984). Al programa MIRASILV también se ingresó la ecuación de regresión, para la estimación del volumen total de madera del tallo con corteza (VOLTM) a partir del dap y hT de los árboles ($V=0,00296 + 0,00007d + 0,00003d^2h$; $R^2=0,92$) generada para *A. acuminata* de 42 meses de edad (Murillo *et al* 1985). Finalmente el C total almacenado en el sistema se calculó con la fórmula siguiente:

$$CTA\ (tC\ ha^{-1}) = COS + CVOLTM$$

Donde:

CTA = Carbono total almacenado.

COS = Carbono orgánico almacenado en el suelo.

CVOLTM = Carbono almacenado en los tallos de *A. acuminata*.

Las variables DA, RP, NT, COS y CVOLTM fueron analizadas mediante un análisis univariado (media y desviación estándar). Para conocer el grado de relación entre DA y RP se realizó un análisis de correlación. Así mismo se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para los grupos de variables siguientes:

- DA del suelo vs. edad del *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y materia orgánica (MO) del suelo.
- RP vs. edad de *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y MO del suelo.
- NT en el suelo vs. edad del *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y MO del suelo.
- COS vs. edad de *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y NT.

Las variables NT y COS fueron analizadas a través de un diseño completamente al azar en arreglo factorial, en

el cual el primer factor fue la edad de los árboles de *A. acuminata* en pasturas y el segundo factor correspondió a los niveles de profundidad. En ambos casos se utilizaron tres repeticiones (fincas).



Alnus acuminata en la modalidad silvopastoril de árboles dispersos en potreros, en fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José Costa Rica. Foto: Cristóbal Villanueva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad aparente y resistencia a la penetración del suelo

La DA mostró una tendencia decreciente conforme aumenta la edad de los árboles de *A. acuminata* en las pasturas, correspondiendo el valor más alto a las pasturas en monocultivo (Figura 1). El análisis de regresión lineal múltiple detectó influencia significativa ($p<0,01$)

de las variables edad (X_1 , años) y MO (X_2 , %) en la explicación parcial de la variabilidad de la DA (Y , $g\ cm^{-3}$) por medio del modelo $Y = 1,41 - 0,02X_1 - 0,04X_2$; $R^2=0,74$. Ello se atribuye a los aumentos de MO que ocurren en suelos cubiertos con pasturas y árboles, lo cual podría ser resultado de una mayor actividad en el crecimiento y descomposición de raíces del pasto y de los árboles. Esta situación puede provocar un incremento del espacio poroso del suelo y por ende, mejor intercambio de líquidos y gases (Arévalo *et al* 1998). Así mismo es oportuno señalar que dicho efecto está concatenado al aporte de N fijado por el *A. acuminata* (Russo 1990). No obstante, la mayor carga animal en pasturas en monocultivo podría estar contribuyendo también en este resultado.

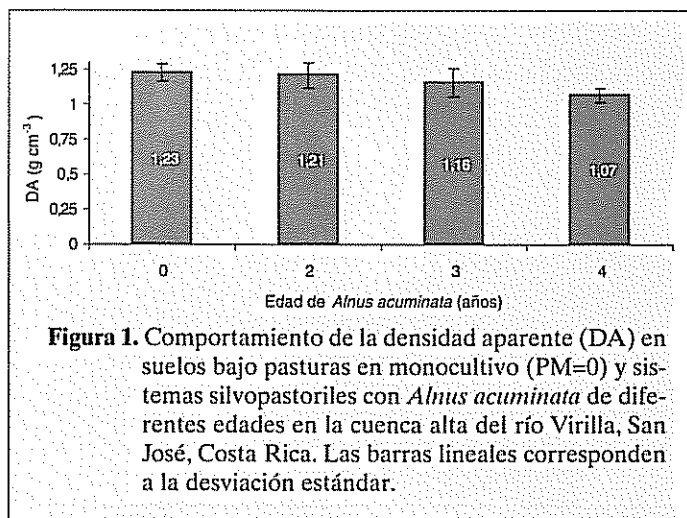


Figura 1. Comportamiento de la densidad aparente (DA) en suelos bajo pasturas en monocultivo (PM=0) y sistemas silvopastoriles con *Alnus acuminata* de diferentes edades en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. Las barras lineales corresponden a la desviación estándar.

La RP mostró un comportamiento similar al de la DA conforme aumenta la edad de los árboles de *A. acuminata* en las pasturas, con valores comprendidos entre 3,16 y 2,14 $kg\ m^{-2}$, para el sistema en monocultivo y el SSP con *A. acuminata* de cuatro años, respectivamente. En el análisis de regresión lineal múltiple, solo la edad de los árboles (X , años) influyó significativamente ($p<0,01$) sobre la explicación parcial de la variación de la RP (Y , $kg\ m^{-2}$) por medio del modelo $Y = 3,18 - 0,24X$; $R^2=0,83$ (Figura 2). Esto podría haber ocurrido debido a la correlación entre edad y materia orgánica del suelo; la edad explica la variabilidad de materia orgánica y por lo tanto, cuando se incluye esta última variable en el modelo de regresión lineal, no resulta significativa. El valor más alto de la RP se podría atribuir a la mayor carga animal imperante en las pasturas en monocultivo. Es importante mencionar que la DA y la RP, constituyen indicadores correlacionados para medir el grado de compactación en suelos; la correlación registrada fue

significativa ($r = 0,63$; $p<0,05$). Dicho impacto según Spain y Gualdrón (1997), se localiza en los primeros 20 cm de profundidad en suelos afectados por sobrepastoreo de los animales.

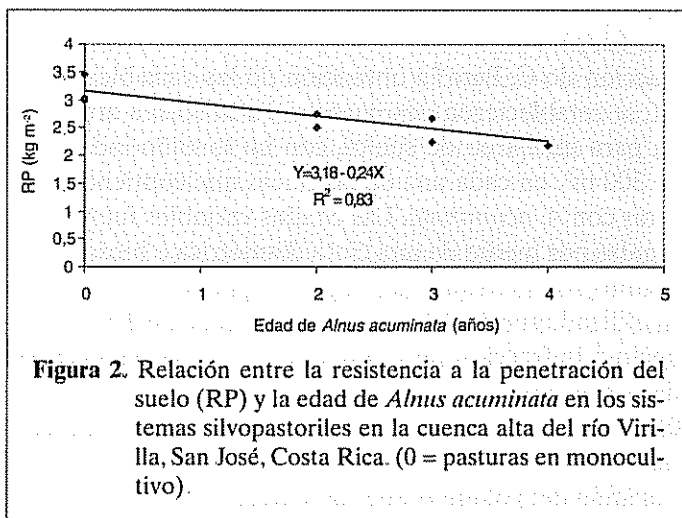


Figura 2. Relación entre la resistencia a la penetración del suelo (RP) y la edad de *Alnus acuminata* en los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. (0 = pasturas en monocultivo).

Nitrógeno total

La concentración de N en cada estrato del suelo presentó diferencia significativa entre edades ($p<0,01$), no así para profundidad e interacción edad y profundidad ($p>0,05$). En este sentido los SSP mostraron una mayor concentración de N total en el suelo que las PM. La concentración de este elemento en el suelo, en los estratos de 0-20 y 20-40 cm de profundidad, presentó una tendencia a incrementarse conforme aumentó la edad de *A. acuminata* (Figura 3). Ello se puede atribuir a la capacidad de fijación de N atmosférico de *A. acuminata*, que puede alcanzar hasta los 320 $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ (Ruso 1990). Este comportamiento coincide con Bolívar *et al* (1999), quienes encontraron valores superiores de N en el suelo en un SSP con *Acacia mangium* y *Brachiaria humidicola* en comparación a pasturas en monocultivo.

El N en el suelo (Y , %) de acuerdo al análisis de regresión lineal múltiple, presentó una relación significativa ($p<0,01$) con la edad de *A. acuminata* (X_1 , años) y la MO del suelo (X_2 , %), para lo cual se ajustó el modelo $Y = 0,06 + 0,04X_1 + 0,02X_2$; $R^2=0,84$.

Carbono total almacenado

El COS total contenido en el estrato de 0-60 cm se incrementó ligeramente conforme aumentó la edad de los árboles de *Alnus acuminata* en las pasturas (Cuadro 1). Sin embargo, la edad de los árboles de *A. acuminata* no afectó significativamente el COS ($p>0,05$), mientras que los niveles de profundidad influyeron sobre este parámetro ($p<0,05$). La interacción entre los factores edad y

profundidad no fue significativa ($p>0,05$). En el análisis de regresión lineal múltiple, el COS no presentó relación significativa ($p>0,01$) con ninguna de las variables consideradas.

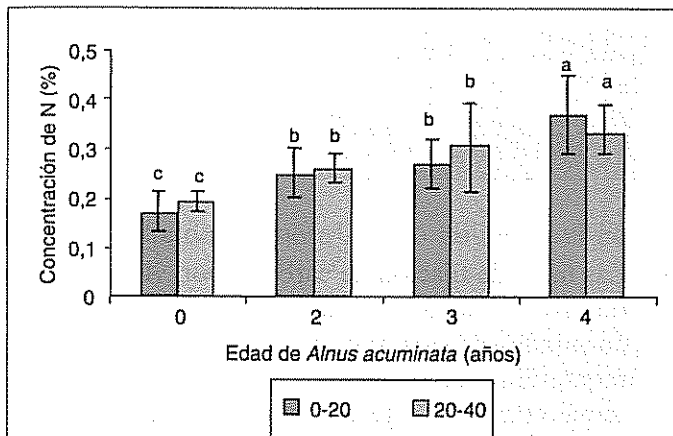


Figura 3. Concentración de N total a diferentes profundidades en suelos bajo pasturas en monocultivo (PM = 0) y asociadas con *Alnus acuminata* en distintas edades, en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. (Letras distintas denotan diferencia significativa para la misma profundidad, según prueba de Duncan $p<0,01$). Las barras lineales corresponden a la desviación estándar.

El COS total almacenado por las pasturas con árboles de *A. acuminata* fue similar al reportado en un SSP de *Cordia alliodora* con *Panicum maximum*, que osciló entre 180 y 200 tC ha⁻¹ en un perfil de 50 cm de profundidad, en el Norte de Costa Rica en una zona de vida clasificada por Holdridge como bosque tropical lluvioso (López *et al* 1999). Es importante señalar que algunos estudios indican que el secuestro de COS está asociado a la concentración de N en el suelo (Fisher y Trujillo 2000). Así mismo, pueden influir otros factores como el clima, vegetación, relieve, material parental,

edad del sistema imperante en la explotación de los suelos y algunas de sus características físicas, químicas y biológicas (Palencia y Martíni 1970).

El C almacenado en los tallos de *A. acuminata* en los SSP fue de 1,1, 4,2 y 6,2 t ha⁻¹ para las edades de 2, 3 y 4 años, respectivamente (Cuadro 2). Para estas edades la tasa de fijación de C en los tallos correspondió a 0,5, 1,4 y 1,7 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Estos valores son inferiores a lo reportado por Ávila *et al* (2001), quienes encontraron valores de 2,2 y 1,8 tC ha⁻¹ año⁻¹ para SSP de tres años de edad de *Brachiaria brizantha* con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta*, respectivamente, en la zona Norte baja de Costa Rica. Ello se puede atribuir a los siguientes factores ligados a *A. acuminata*: no se consideró la biomasa aérea total, menor densidad de la madera, alta densidad de árboles y a la fuerte competencia del pasto *P. clandestinum*, la cual ocurre desde el momento de la siembra.

El C total almacenado en los sistemas de monocultivo y con *A. acuminata*, varió de 184,6 a 202,9 t ha⁻¹, del cual la mayor parte tiene como fuente principal el COS, con un aporte superior al 97% (Cuadro 2). Fisher *et al* (1994) y López *et al* (1999), señalan que las pasturas mejoradas en suelos con textura franco arenosa poseen una alta densidad de raíces, lo cual les permite adicionar constantemente C al suelo por medio de la descomposición rápida de sus raíces.

Una estrategia para incentivar a los ganaderos de las lecherías de altura, a la plantación y/o retención de maderables dentro de las pasturas, sería el considerarlos en el pago de servicios ambientales, acorde a la capacidad de fijación y almacenamiento de C de los sistemas de producción. Con ello los sistemas ganaderos bajo el enfoque silvopastoril, podrían reflejar más atracción al aumentar el valor agregado de los productos.

Cuadro 1. Carbono orgánico secuestrado (tC ha⁻¹) a diferentes profundidades en suelos bajo pasturas de *Pennisetum clandestinum* en monocultivo (0) y asociadas con *Alnus acuminata* de diferentes edades en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica.

PROFUNDIDAD (cm)	Edad de <i>Alnus acuminata</i> (años)			
	0	2	3	4
0-20	65,1±15,8	73,2±14,2	69,7±8,2	78,4±3,8
20-40	62,7±9,7	62,3±5,2	64,1±9,6	65,7±5,4
40-60	56,8±9,0	51,1±8,7	61,7±7,9	52,6±3,4
TOTAL	184,6±32,0	186,6±46,2	195,5±24,8	196,7±9,1

Cuadro 2. Carbono total almacenado en pasturas de *Pennisetum clandestinum* en monocultivo (0) y asociadas con *Alnus acuminata* de diferentes edades en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica.

Edad de <i>Alnus acuminata</i> (años)	Carbono orgánico en el suelo (t ha ⁻¹)	Carbono en el volumen total de madera (t ha ⁻¹)	Carbono total almacenado en el sistema (t ha ⁻¹)
0	184,6±32,2	0,0	184,6
2	186,6±46,2	1,1±0,6	187,7
3	195,5±24,9	4,2±1,2	199,6
4	196,7±9,1	6,2±0,8	202,9

CONCLUSIONES

- Los sistemas silvopastoriles con *Alnus acuminata* y *Pennisetum clandestinum* mejoraron los parámetros del suelo: densidad aparente, resistencia a la penetración y nitrógeno total, además de contribuir con un mayor secuestro de carbono total del sistema en comparación a las pasturas en monocultivo.
- Las tasas de fijación de carbono por *A. acuminata* dentro de los SSP fue de 0,5, 1,4 y 1,7 t ha⁻¹ año⁻¹, en edades de dos, tres y cuatro años, respectivamente. Ello refleja una faceta positiva de estos sistemas como una alternativa de producción animal ecoamigable.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Arévalo, LA; Alegre, JC; Bandy, DE; Szott, T. 1998. The effect of cattle grazing on soil physical and chemical properties in a silvopastoral system in the Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems* 40(2):109-124.
- Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8 (30):32-35.
- Bolívar, D; Ibrahim, M; Kass, D; Jiménez, F; Camargo, JC. 1999. Productividad y calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* en monocultivo y en asocio con *Acacia mangium* en un suelo ácido en el trópico húmedo. *Agroforestería en las Américas* 6 (23):48-50.
- Brown, S; Lugo, AE. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science* 223:1290-1293.
- Fisher, MJ; Rao, IM; Ayarza, MA; Lascano, CE; Sanz, JI; Tomas, RJ; Vera, RR. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature* 371:236-238.
- Fisher, MJ; Trujillo, W. 2000. Fijación de carbono por pastos tropicales en las sabanas de suelos ácidos neotropicales. In *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales*. Eds. C Pomareda; H Steinfeld. San José, CR, Nuestra Tierra. p. 115 - 135.
- Henriquez, C; Bertsch, F; Salas, R. 1995. Fertilidad de suelos, manual de laboratorio. San José, CR. Asociación Costarricense de ciencia del suelo. 64 p.
- Kaimowitz, D. 1992. La experiencia de Centroamérica y la República Dominicana con proyectos de inversión que buscan sostenibilidad en las laderas. In *Seminario Agricultura Sostenible en América Latina y el Caribe*. Washington. p. 31 - 56.
- López, A; Schlönvoigt, A; Ibrahim, M; Kleinn, C; Kanninen, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6 (23):51-53.
- Murillo, O; Camacho, P; Rojas, F. 1985. Análisis de plantaciones jóvenes de jaúl (*Alnus acuminata*) como una opción para el suministro de leña. In *Seminario sobre Técnicas de Producción de Leña en Fincas Pequeñas y Recuperación de Sitios Degradados por medio de la Silvicultura Intensiva*. Ed. R. Salazar Turrialba, CR, CATIE/IUFRO. p. 301 - 314.
- Palencia, JA; Martíni, JA. 1970. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central. *Turrialba* 20 (3):325-332.
- Pezo, D; Romero, F; Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para leche y carne. In *Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano*. Ed. S Fernández - Baca. Santiago, Chile, FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. p. 47-98.
- Reyes, G; Brown, S; Chapman, J; Lugo, AE. 1992. Wood densities of tropical tree species. *New Orleans, US Forest Service* 52 p.
- Russo, RO. 1990. Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 10(3):241-252.
- Spain, JM; Gualdrón, R. 1997. Degradación y rehabilitación de pasturas. In *Reunión del Comité Asesor de la RIEPT (4, 1988, Veracruz, MX)*. Establecimiento y renovación de pasturas. Eds. CE Lascano; JM Spain. Cali, CO, CIAT. p. 269-283.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle, pasture, land degradation and alternative land use in Central America. *Turrialba, CR, CATIE* 71 p. (Serie Técnica Informe Técnico no 313)
- Ugalde, LA. 2001. El sistema MIRA componente de silvicultura: manual del usuario. *Turrialba, CR, CATIE* 91 p.

Diversidad de hormigas en sistemas agroforestales de café contrastantes, en Turrialba, Costa Rica¹

Nadiejda Barbera²; Luko Hilje³; Paul Hanson⁴; John T. Longino⁵; Manuel Carballo³; Elias de Melo³

Palabras claves: Agricultura orgánica; *Erythrina poeppigiana*; índices de diversidad; *Pheidole radoszkowskii*; *Solenopsis geminata*.

RESUMEN

En Mesoamérica, aunque las hormigas pueden alcanzar altos niveles de diversidad en cafetales tradicionales con sombra, se desconoce si otras prácticas como el manejo orgánico también las favorecen. Por lo tanto, se caracterizó la diversidad de hormigas presentes en un gradiente de sistemas agroforestales de café, desde totalmente orgánicos, hasta totalmente convencionales (alto uso de insumos químicos). Hubo diferencias claras en la composición, riqueza y diversidad de especies de hormigas entre los sistemas, alcanzándose los mayores valores en el sistema totalmente orgánico. Sin embargo, éstas se explican por las diferentes edades de los cafetales y su complejidad estructural, y no por su tipo de manejo (orgánico o convencional). Tanto la riqueza como la diversidad de especies de hormigas fueron mayores en el suelo y en los árboles de *Erythrina poeppigiana* que en los arbustos de café. *Solenopsis geminata* fue la especie de hormiga dominante en todos los sistemas, con excepción del sistema totalmente orgánico, donde predominó *Pheidole radoszkowskii*.

Ant diversity in contrasting agroforestry coffee systems in Turrialba, Costa Rica

ABSTRACT

Even though ant species can reach high levels of diversity in traditional coffee plantations in Mesoamerica, it is unknown if other practices, such as organic management, also favor them. Therefore, ant species diversity was studied along a gradient of agroforestry coffee systems, ranging from fully organic to fully conventional (high use of agrochemical inputs). There were clear differences in terms of ant species composition, richness and diversity between systems, with the highest values being attained in the fully organic system. Nevertheless, these differences were due to different ages and structural complexity of the systems and not because of the type of management (organic or conventional). Both ant species richness and diversity were higher in the soil and on *Erythrina poeppigiana* trees than on the coffee plants. *Solenopsis geminata* was the dominant ant species in all systems, except the fully organic one, where *Pheidole radoszkowskii* dominated.

INTRODUCCIÓN

La producción de café (*Coffea arabica*) mediante métodos orgánicos puede aportar beneficios económicos importantes, como resultado de su venta a precios preferenciales en los países desarrollados. Entre dichos métodos destaca la presencia de árboles de sombra en los cafetales, no solo por sus funciones productivas (p.ej., fuente de madera o frutas) y agronómicas *per se*, sino también por actuar como refugio para aves migratorias y como hábitats para insectos, los cuales alcanzan altos niveles de diversidad en plantaciones con sombra; p.ej., los órdenes Coleoptera (Nestel *et al* 1992), Homoptera (Rojas *et al* 2001) e Hymenoptera (Perfecto *et al* 1996, 1997). Entre este último grupo sobresalen las

hormigas, que son un grupo muy diverso en hábitos alimentarios, contribuyendo en procesos claves de los ecosistemas, incluyendo la regulación de las poblaciones de insectos herbívoros (Way y Khoo 1992).

Este último proceso ocurre gracias al hábito depredador de algunas especies, las cuales no solamente son generalistas, sino que comúnmente incluyen otros rubros en su dieta (Longino y Hanson 1995). Aunque se supone que las hormigas no son eficientes como agentes de control biológico de plagas, algunas evidencias demuestran que pueden serlo (Perfecto y Castiñeiras 1998).

¹ Basado en: Barbera, N. 2001. Diversidad de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, en Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.

² M.Sc. en Fitoprotección, CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: nbarbera57@hotmail.com (autora para correspondencia).

³ Profesores investigadores, CATIE. E-mails: lhilje@catie.ac.cr; mcarball@catie.ac.cr; eliasdem@catie.ac.cr

⁴ Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

⁵ The Evergreen State College, Olympia, Washington

Desde el punto de vista aplicado, es necesario conocer la funcionalidad de las hormigas en los agroecosistemas cafetaleros y sobre todo, de las especies que podrían actuar como agentes de control biológico, para así establecer recomendaciones acerca de su conservación o su incremento (Vandermeer *et al* 2002). En realidad, se desconoce si otros métodos orgánicos, además del uso de la sombra, podrían favorecerlas. Por lo tanto, en el presente estudio se caracterizó la diversidad de hormigas presentes en sistemas agroforestales contrastantes de café, incluyendo sistemas orgánicos, como fundamento para mejorar la conservación y aprovechamiento de las especies depredadoras en programas de manejo integrado de plagas (MIP).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre mediados de febrero y septiembre del 2001, en seis sistemas de café con *Erythrina poeppigiana* en el CATIE, en Turrialba: totalmente orgánico (TO), levemente orgánico (LO), medianamente orgánico (MO), medianamente convencional (MC), convencional (CN) y comercial (CM). El sistema TO correspondió a una plantación demostrativa de 4 ha de café (var. Caturra) de siete años de edad, con árboles de *E. poeppigiana* mayores de 6 m (Foto A). En este sistema, se hicieron aplicaciones de broza descompuesta, la descumbría de *E. poeppigiana* y la poda del café, así como el combate ocasional de malezas en forma manual. Los sistemas (tratamientos) LO, MO, MC y CN eran

parte de un experimento de 9 ha de café (var. Caturra) menor de un año de edad (Foto B). Estaba subdividida en siete tipos de tratamientos, incluyendo combinaciones de diferentes especies de árboles (de servicio, maderables y/o fijadores de nitrógeno), con varios niveles de insumos (convencionales y orgánicos). El sistema CM correspondió a una plantación comercial de café (var. Costa Rica 95) de 7 ha, cinco años de edad y también asociado con *E. poeppigiana* (Foto C). Este sistema fue manejado con descumbras, podas, fertilizaciones y aplicaciones ocasionales de herbicidas para combatir malezas. Todos los cafetales estaban ubicados en un radio de 1300 m, con distancias de 1 km entre las parcelas experimentales y los sistemas CM y TO, respectivamente, y de 300 m entre el CM y el TO.

En la parcela correspondiente a cada tratamiento (sistema) se eligieron al azar cinco estaciones de muestreo, donde en cada uno de tres hábitats (un arbusto de café, un árbol de *E. poeppigiana* y el suelo), se muestrearon las hormigas mediante trampas (cebo atrayente). La trampa consistió en un cuadrado de cartón absorbente (28 cm²), previamente sumergido en una solución de aceite con atún, la cual se colocó en el campo por 30 min. Los muestreos se realizaron en forma quincenal. Para cada fecha se hicieron tres repeticiones de cada muestreo, por lo que se contó con 270 muestras, subdivididas en 45 para cada uno de los seis sistemas estudiados; es decir, 15 por cada hábitat (café, *E. poeppigiana* y suelo).



Aspecto general de tres de los sistemas de producción de café estudiados en esta investigación: totalmente orgánico (TO) (A), convencional (CN) (B) y comercial (CM) (C) CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fotos: N. Barbera

Los especímenes fueron identificados por uno de los autores (John Longino). Se contabilizó el número de individuos por cada especie, para graficar las curvas de abundancia de especies y calcular los índices de diversidad (Shannon-Wiener), equidad y similitud (Jaccard) para cada sistema y hábitat (Krebs 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se capturaron 244215 individuos, pertenecientes a 19 especies, en los seis sistemas. De éstas, solamente siete estuvieron presentes en los seis sistemas estudiados: *Solenopsis geminata* (hormiga brava), *Pheidole radoszkowskii*, *P. cocciphaga*, *Tapinoma paratrachina*, *Wasmannia auropunctata* (hormiga de fuego), *Monomorium floricola* y *Brachymirmex* sp. Por su parte, *S. picea* apareció en cuatro de ellos, y las restantes en apenas uno (*Forelius* sp., *Camponotus* sp., *P. simonsi*, *Rogeria tonduzi*, *Pachycondyla obscuricornis* y *Cardiocondyla* sp.) o en dos sistemas (*Azteca* sp., *Odontomachus chelifer*, *Crematogaster curvispinosa*, *Gnamptogenis striatula* y *Ectatomma gibbum*). Las más abundantes fueron *S. geminata* (89%), *P. radoszkowskii* (7%), *P. cocciphaga* (3%), *T. paratrachina* (0,5%) y *W. auropunctata* (0,5%).

El sistema con mayor riqueza de especies fue el **TO** (Cuadro 1). Sin embargo, el número de individuos en cada sistema no coincidió con esta tendencia, ya que su mayor cantidad se observó en el sistema **CN**, y fue menor en los sistemas con más especies (**CM** y **TO**). El índice de diversidad de especies fue mayor para los sistemas **TO** y **CM**, ocupando el **TO** el primer lugar, no solo por su mayor riqueza de especies, sino sobre todo por su mayor equidad (menos contraste en la cantidad de individuos por especie). La mayoría de las especies no dominantes (11) aparecieron en **TO**, exceptuando a *G. striatula*, *Cardiocondyla* sp. y *E. gibbum*, y cinco de ellas (*Forelius* sp., *Camponotus* sp., *P. simonsi*, *R. tonduzi* y *P. obscuricornis*) fueron exclusivas de dicho sistema.

La explicación de estas tendencias en cuanto a la riqueza y diversidad de especies es que los sistemas **TO** y **CM** son los de mayor edad (siete y cinco años, respectivamente), en contraste con los sistemas en parcelas experimentales, menores de un año. La mayor riqueza en el **TO** posiblemente se explica por el mayor tamaño de los árboles de *E. poeppigiana*, así como sus anchos troncos cubiertos de abundantes líquenes y musgos, donde hay hendiduras y hoyos que proporcionan hábitats para las hormigas. Asimismo, la complejidad estructural y la composición florística del sotobosque aportaron microclimas, microhábitats y recursos (sitios de anidación, cantidad y calidad de alimento vegetal y animal, etc.) para especies con distintos hábitos. De hecho, en el sotobosque había muchas plantas de malanga (*Colocasia* sp.) y china (*Impatiens balsamina*), su composición florística era más o menos estable y nunca fue perturbada con la aplicación de herbicidas, como ocurrió en el **CM**.

Además, el valor de diversidad total del sistema **TO** se favoreció por la cantidad de especies de hormigas que visitan a *E. poeppigiana*. Por ejemplo, hubo cuatro especies (*Azteca* sp., *O. chelifer*, *Brachymirmex* sp. y *C. curvispinosus*) que no aparecieron en el café pero sí en *E. poeppigiana* (y dos de ellas también en el suelo), mientras que los números de individuos fueron siempre mayores en *E. poeppigiana* que en el café.

Las curvas de abundancia de especies en general mostraron un patrón análogo en todos los sistemas y hábitats, con la forma de una J invertida, la cual indica que unas pocas especies fueron muy abundantes (dominantes), otras ocuparon una posición intermedia, y la mayoría estuvo representada por pocos individuos. La especie dominante en la comunidad de hormigas en los cafetales fue *S. geminata*, con 86-96% del total de individuos (Cuadro 2), seguida por *P. radoszkowskii*. Los valores iguales o superiores al 90% se registraron en las

Cuadro 1. Especies, individuos e índices de diversidad y equidad de hormigas en seis sistemas de café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica

	TO	LO	MO	MC	CN	CM
No. especies	16	8	8	9	9	12
No. individuos	10357	37443	39412	65889	72075	19039
Índice de diversidad (H)	1,68	0,38	0,28	0,22	0,42	0,55
Índice de equidad (E)	0,60	0,18	0,13	0,10	0,19	0,22

Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial

parcelas experimentales (**LO, MO, MC** y **CN**); y dentro de éstos, sus números fueron mayores en los sistemas convencionales (**MC** y **CN**) que en los orgánicos (**LO** y **MO**). *P. radoszkowskii* fue co-dominante, pero con valores bajos (3-10%), aunque en el sistema **TO** alcanzó el 46%, e incluso superó a *S. Geminata*. En las parcelas experimentales, los valores fueron de apenas 3-5%, y no hubo un contraste claro entre los sistemas convencionales y los orgánicos; los números fueron más parecidos entre los sistemas **MO** y **MC** que entre **LO** y **CN**.

S. geminata es común en áreas abiertas, monocultivos o cuando se elimina la sombra en los cafetales (Perfecto 1994; Perfecto y Vandermeer 1996). Por tanto, sus números fueron bajos en la parcela **TO**, la cual tenía árboles grandes de *E. poeppigiana*, de más de 6 m, y algunos de laurel (*Cordia alliodora*). Asimismo, el ambiente era muy húmedo, y el suelo siempre estaba húmedo y cubierto por un denso manto de hojarasca. Bajo estas condiciones, *S. geminata* queda en desventaja con respecto a *P. radoszkowskii* (Perfecto 1994), cuyos nidos generalmente se encuentran cerca de troncos muertos, en el suelo. Aunque *P. radoszkowskii* se encontró en todos los hábitats de todos los sistemas evaluados, la abundancia sobre el suelo en el sistema **TO** de ramas gruesas resultantes de las fuertes podas a *E. poeppigiana*, proporcionó microhábitats favorables para esta especie. Además, *S. geminata* es un competidor ineficiente, pues aunque sus individuos son muy móviles, su principal estrategia de alimentación es la protección y defensa de los recursos (Perfecto 1994). En cambio, *P. radoszkowskii* tiene mayor capacidad para localizar recursos que *S. geminata* (Perfecto 1994) y, aunque sus colonias no son tan grandes y abundantes como las de *S. geminata*, su capacidad de reclutamiento (atracción de miembros de la misma co-

lonia a sitios donde su trabajo es necesario) es mayor, lo cual le da una ventaja competitiva (Perfecto 1994, Perfecto y Vandermeer 1996).

Al considerar la composición de especies por hábitat, *S. geminata* y *P. radoszkowskii* fueron abundantes en los tres hábitats en todos los sistemas (Cuadro 3). En las parcelas experimentales (**LO, MO, MC** y **CN**), las cantidades de hormigas fueron mucho mayores en el suelo y en los árboles de *E. poeppigiana* que en los arbustos de café. La mayor abundancia de ambas especies en el suelo se explica por sus hábitos de anidación, mientras que su visita frecuente a los árboles de *E. poeppigiana* se relaciona con la presencia de nectarios extraflorales en el follaje. Aún en las parcelas experimentales, a pesar del pequeño tamaño de los arbolitos de *E. poeppigiana*, hubo suficiente follaje para ser atractivo para éstas y otras especies.

Al analizar la diversidad de especies por hábitat se encontró el 37% de las especies en el suelo, 36% en los árboles de *E. poeppigiana* y 27% en los arbustos de café. El mayor valor del índice de diversidad fue para *E. poeppigiana* en **TO** (superando al índice de diversidad del sistema **TO**), seguido por el suelo y el café del mismo sistema (Cuadro 4). Asimismo, en las parcelas experimentales, casi siempre la secuencia fue *E. poeppigiana*>suelo>café, excepto en **CN**, donde el suelo ocupó el primer lugar. Por el contrario, para el sistema **CM** fue el café el que ocupó el primer lugar, seguido por *E. poeppigiana* y el suelo.

En cuanto a la similitud de especies entre los sistemas, el índice de Jaccard reveló que los más parecidos entre sí fueron los sistemas orgánicos (**LO** y **MO**), así como los convencionales (**MC** y **CN**), todos en las parcelas experimentales (Cuadro 5). Asimismo, los sistemas más

Cuadro 2. Números absolutos y porcentuales de individuos de las cinco especies de hormigas más abundantes en seis sistemas de café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Especie	TO		LO		MO		MC		CN		CM	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
<i>Solenopsis geminata</i>	1624	16	34235	91	36841	93	62956	96	64511	90	16397	86
<i>Pheidole radoszkowskii</i>	4741	46	1352	4	2106	5	2178	3	3834	5	1813	10
<i>Pheidole cocciphaga</i>	1396	13	1571	4	413	1	348	1	3535	5	199	1
<i>Tapinoma paratrachina</i>	779	8	165	0	22	0	102	0	23	0	246	1
<i>Wasmannia auropunctata</i>	801	8	2	0	4	0	6	0	3	0	319	2

Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

Cuadro 3. Números absolutos y porcentuales de individuos de las cinco especies de hormigas más abundantes en los diferentes hábitats (café, *Erythrina poeppigiana* y suelo) de seis sistemas de café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN	HÁBITAT	ESPECIE									
		<i>Solenopsis geminata</i>		<i>Pheidole radoszkowskii</i>		<i>Pheidole cocciphaga</i>		<i>Tapinoma paratrachina</i>		<i>Wasmannia auropunctata</i>	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
TO	C	306	8	2808	75	103	3	62	2	306	8
	P	757	20	1443	38	335	9	110	3	453	12
	S	561	20	490	17	958	34	607	22	42	1
LO	C	2981	99	22	1	2	0	2	0	0	0
	P	10057	82	853	7	1155	9	144	1	0	0
	S	21197	96	477	2	414	2	19	0	2	0
MO	C	2950	96	122	4	0	0	0	0	0	0
	P	14144	90	1443	9	148	1	14	0	0	0
	S	19747	96	541	3	265	1	8	0	4	0
MC	C	6712	95	230	3	141	2	4	0	6	0
	P	25222	93	1521	6	141	1	86	0	0	0
	S	31022	98	427	1	66	0	12	0	0	0
CN	C	8028	94	443	5	29	0	0	0	3	0
	P	28878	91	1514	5	1148	4	8	0	0	0
	S	27605	86	1877	6	2358	7	15	0	0	0
CM	C	5507	78	1079	15	29	0	206	3	241	3
	P	4710	88	455	8	69	1	32	1	72	1
	S	6180	94	279	4	101	2	8	0	6	0

Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial Hábitats: C= café; P= *E. poeppigiana*; S= Suelo.

Cuadro 4. Índices de diversidad (Shannon-Wiener) para las especies de hormigas, según los hábitats (café, *Erythrina poeppigiana* y suelo) en seis sistemas de café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

SISTEMA DE PRODUCCION	HÁBITATS		
	Café (C)	<i>E. poeppigiana</i> (P)	Suelo (S)
Totalmente orgánico (TO)	0,98	1,76	1,62
Levemente orgánico (LO)	0,06	0,67	0,21
Medianamente orgánico (MO)	0,17	0,37	0,20
Medianamente convencional (MC)	0,25	0,27	0,14
Convencional (CN)	0,24	0,37	0,50
Comercial (CM)	0,74	0,48	0,30

disímiles fueron el **TO** y los otros dos sistemas orgánicos (**LO** y **MO**) Al considerar la similitud de especies según el hábitat, dentro de cada sistema, el índice de Jaccard reveló que los hábitats más parecidos entre sí fueron *E. poeppigiana*-suelo y café-suelo en el sistema **TO**, seguidos por *E. poeppigiana*-suelo en los sistemas **MO** y **CN** (Cuadro 6).

Hay reportes de que las dos especies dominantes, así como varias de las no dominantes pueden actuar como depredadoras de insectos en café u otros sistemas agrícolas (Longino y Hanson 1995; Perfecto y Castiñeiras 1998). Aunque las hormigas depredadoras normalmente son generalistas, quizás podrían depredar plagas importantes en sistemas agroforestales mesoamericanos, como la broca del café (*Hypothenemus hampei*) o el barrenador *Hypsipyla grandella*, que ataca a los cedros (*Cedrela odorata*) y caobas (*Swietenia spp.*) establecidos

en cafetales. Sin embargo, para ello posiblemente sería necesario optimizar los requerimientos de hábitat de dichas especies, de modo que incrementen sus poblaciones y puedan depredar a estas plagas de manera preventiva, antes de que causen un daño irreversible

Cuadro 5. Índices de similitud (Jaccard) para la composición de especies de hormigas, entre seis sistemas de café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

	TO	LO	MO	MC	CN	CM
TO	-	0,41	0,41	0,47	0,47	0,65
LO		-	1,00	0,70	0,70	0,53
MO			-	0,70	0,70	0,53
MC				-	0,80	0,62
CN					-	0,75

Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial

Cuadro 6. Índices de similitud (Jaccard) para las especies de hormigas entre pares de hábitats (café, *Erythrina poeppigiana* y suelo) en cada uno de seis sistemas de café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

	C - P	C - S	P - S
TO	0,69	0,78	0,88
LO	0,71	0,71	0,00
MO	0,28	0,28	0,75
MC	0,71	0,63	0,63
CN	0,57	0,44	0,75
CM	0,60	0,55	0,55

Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial Hábitats: C = café; P = *E. poeppigiana*; S = suelo.

CONCLUSIONES

- *S. geminata* fue la especie dominante en todos los sistemas, con excepción del sistema totalmente orgánico, donde predominó *P. radoszkowskii*.
- Hubo diferencias claras en la composición, riqueza y diversidad de especies de hormigas, alcanzándose los mayores valores de estas variables en el sistema totalmente orgánico. Sin embargo, éstas se explican por la edad de los cafetales y su complejidad estructural, y no por su tipo de manejo, orgánico o convencional.
- Tanto la riqueza como la diversidad de especies fueron mayores en los árboles de *E. poeppigiana* y en el suelo que en los arbustos de café, lo cual reafirma la importancia de este árbol de sombra para favorecer la biodiversidad en cafetales.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Krebs, CJ 1989. Ecological methodology. New York Harper & Row 654 p
- Longino, JT; Hanson, PE 1995. The ants (Formicidae) *In* Hanson, PE; Gauld, ID The Hymenoptera of Costa Rica New York, Oxford University Press/The Natural History Museum 893 p
- Nestel, D; Dickschen, F; Altieri, M 1992. Diversity patterns of soil macro-Coleoptera in Mexican shaded and unshaded coffee agroecosystems: an indication of habitat perturbation. *Biodiversity and Conservation* 2: 70-78
- Perfecto, I. 1994. Foraging behavior as a determinant of asymmetric competitive interaction between two ant species in a tropical agroecosystem *Oecologia* 98: 184-192
- Perfecto, I; Castiñeiras, A. 1998. Deployment of the predaceous ants and their conservation in agroecosystems. *In* Barbosa, P. ed Conservation biological control New York Academic Press. p 269-289.
- Perfecto, I; Rice, RA; Greenberg, R; Van der Voort, M. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8): 598-608
- Perfecto, I; Vandermeer, J. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 108: 577-583.
- Perfecto, I; Vandermeer, J; Hanson, P; Cartín, V. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agroecosystem *Biodiversity and Conservation* 6: 935-945.
- Rojas, L; Godoy, C; Hanson, P; Kleinn, C; Hilje, L. 2001. Hopper (Homoptera: Auchenorrhyncha) diversity in shaded coffee systems of Turrialba, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53(2): 171-177
- Vandermeer, J; Perfecto, I; Ibarra Nuñez, G; Phillpot, S; Garcia Ballinas, A. 2002. Ants (*Azteca* sp) as potential biological control agents in shade coffee production in Chiapas, Mexico *Agroforestry Systems* 56 (3): 271 - 276.
- Way, MJ; Khoo, KC. 1992. Role of ants in pest management. *Annual Review of Entomology* 37: 479-503.

Contaminación del agua con nitratos en microcuencas con sistemas agroforestales de *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica¹

Reina Vanessa Renderos Durán², Jean-Michel Harmand³, Francisco Jiménez⁴, Donald Kass⁵

Palabras clave: Nitrógeno; nacientes de agua; lixiviación; polución del agua.

RESUMEN

Desde marzo hasta octubre del 2001, se estudió el efecto de la fertilización química nitrogenada en la contaminación del agua con nitratos en dos fincas que poseen sistemas de café (*Coffea arabica*) con sombra de eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) en la zona Pacífica Sur de Pérez Zeledón, Costa Rica. La dos fincas recibieron 260 kg N ha⁻¹año⁻¹ hasta el 2000 pero solamente 120 kg N ha⁻¹ en el 2001. Los promedios de N-NO₃ registrados en las nacientes son de 0,21 mg l⁻¹ bajo bosque y 1 - 1,6 mg l⁻¹ en las dos fincas cafetaleras; valores más bajos que los reportados en zonas cafetaleras del Valle Central de Costa Rica (2,1 a 4 mg l⁻¹). Esto podría ser debido al mayor nivel de lluvias, al aporte más bajo de fertilizante y a la baja fertilidad de los suelos en Pérez Zeledón. También el nivel máximo de N-NO₃ encontrado en este estudio (5,8 mg l⁻¹) está debajo del valor máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (10 mg l⁻¹). En la estación lluviosa (junio), los contenidos de nitratos en el suelo y en el agua de lixiviación indicaron una acumulación alta de nitratos en el primer metro de suelo (130 kg ha⁻¹) y una concentración media en el agua libre a 1,2 m (6,2 mg l⁻¹). Los niveles más bajos en las nacientes sugirieron adsorción de nitratos o desnitrificación a profundidades más bajas que 1,2 m.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*) es uno de los cultivos económicamente más importantes en Costa Rica. Hasta los 70s del Siglo XX se sembró predominantemente en asocio con árboles de sombra. Sin embargo, con la introducción de variedades de café más productivas como Catu-

Nitrate contamination of water in micro-watersheds containing *Coffea arabica* - *Eucalyptus deglupta* agroforestry systems in the South of Costa Rica

ABSTRACT

From March to October 2001, the effect of N fertilizer on water contamination with nitrates was evaluated in two coffee (*Coffea arabica*) plantations shaded with *Eucalyptus deglupta* in the Pacific southern zone of Pérez Zeledón, Costa Rica. These plantations received 260 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ until 2000 but only 120 kg N ha⁻¹ during 2001. Concentrations of N-NO₃ averaged 0.21 mg l⁻¹ under forests and 1 - 1.6 mg l⁻¹ in the coffee farms; values lower than the 2.1 to 4.4 mg l⁻¹ reported in coffee-growing areas in the Central Valley of Costa Rica. This could be due to the greater rainfall and the lower fertilization rate as well as less fertile soils in Perez Zeledon. In this study, N-NO₃ concentration of springs did not exceed 5.8 mg l⁻¹ which is lower than the 10 mg l⁻¹ considered by the World Health Organization to represent a health hazard. During the rainy season (June), soil nitrates averaged 130 kg ha⁻¹ in the upper meter of soil. Lysimeters located 1.2 m below the soil surface detected higher mean N-NO₃ concentration (6.2 mg l⁻¹) than in springs water, suggesting that nitrate adsorption or denitrification possibly occurred in soil layers below 1.2 m depth.

rra, el uso de la sombra se ha reducido o eliminado, a la vez que se ha incrementado el uso de fertilizantes nitrogenados (Babbar y Zak 1995). El N es el nutrimento más limitante en la productividad de las plantaciones cafetaleras (Carvajal 1984); entre los años 1970 y 1999,

¹ Basado en: Renderos D, RV 2001. Sistemas agroforestales café-eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) y contaminación del agua con nitratos en microcuencas de la Zona Sur de Costa Rica. Tesis M Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica

² M Sc en Agroforestería Tropical. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001. E-mail: vanren@integra.com.sv

³ Profesor Investigador CIRAD-Forêt/CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: harmand@catie.ac.cr (autor para correspondencia)

⁴ Profesor Investigador CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: fjimenez@catie.ac.cr

⁵ Profesor Investigador, 11 Riverside Drive, Apt 4PE, New York, NY 10023 USA. E-mail: dcl9@hotmail.com

la producción de café en Costa Rica ha sido subsidiada con aplicaciones de hasta 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Babbar y Zak 1995). Según Sommer (1978), solamente el 30% del N aplicado a los cafetales es absorbido por la planta de café, lo que hace suponer grandes pérdidas de N en estos agroecosistemas. La lixiviación de formas solubles y móviles de nitrógeno, como los nitratos, puede afectar la calidad de las aguas subterráneas; en el Valle Central de Costa Rica, Reynolds *et al* (1994) reportaron concentraciones superiores a 10 mg l⁻¹ de N-NO₃, nivel considerado como un riesgo para la salud humana. La acidificación de suelos y aguas y la eutroficación del agua, son otros impactos negativos de la lixiviación de nitratos (Agrawal *et al* 1997).

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la fertilización nitrogenada en plantaciones de café en asocio con *Eucalyptus deglupta*, sobre la calidad del agua superficial y de nacientes de agua (concentración de nitratos).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en dos fincas cafetaleras (Verde Vigor y Santa Fe) ubicadas al sur de la ciudad de San Isidro del General, en el cantón de Pérez Zeledón, de la Provincia de San José, Costa Rica. Geográficamente las fincas se encuentran entre las coordenadas 9°15' - 9°18' N y 83°31' - 83°36' O, con altitudes entre 600 y 700 msnm. Los suelos de la zona son Ustic Palehumult con pendientes de 0-33% y pH 4,5-6,6. La zona de vida según Holdridge es bosque pluvial montano bajo. El contenido de materia orgánica de la capa 0-20 cm varía de 1,2% en la finca Verde Vigor a 6% en la finca Santa Fe. La precipitación anual es de 2740 mm (170 días de lluvia de abril a diciembre). La temperatura media es de 23,5 °C y la humedad relativa de 87,5%.

Descripción de los sistemas de cultivo

Anteriormente en las fincas se sembró pastos y en algunas partes por un corto periodo caña de azúcar. Posteriormente se estableció *C. arabica* en asocio con *E. deglupta*. En estas fincas grandes (600 a 1000 ha), las microcuencas no tuvieron influencia de otros cultivos, ni de asentamientos humanos. En la finca Verde Vigor, el sistema café-eucalipto fue establecido de 1995 a 1998-99, mientras que en la finca Santa Fe se sembró el café en 1988 y siete años más tarde se introdujo el eucalipto. Las fincas fueron fertilizadas simultáneamente a partir de las primeras lluvias fuertes. Hasta el año 2000 se realizaron cada año tres fertilizaciones de abril a septiem-

bre con la fórmula 18-3-15-6-0,4-7,3 (N-P₂O₅-K₂O-MgO-B-S), para un total de 180 kg N ha⁻¹ en las tres aplicaciones y una última fertilización con Nutrán (16,5% de N nítrico y 16,5% de N amoniacal), que en el año 2000 se realizó del 20 de noviembre al 14 de diciembre, aportando 80 kg N ha⁻¹. En total, se introdujeron 260 kg N ha⁻¹ durante el ciclo de fertilización anual, aunque en el 2001 se aplicaron solamente 120 kg N ha⁻¹, en dos aplicaciones de la fórmula completa (primera fertilización del 20 de abril al 6 de junio; segunda fertilización del 5 de julio al 7 de agosto), debido a la crisis de bajos precios del café.



Quebrada en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica, la cual muestra el asocio *Coffea arabica* - *Eucalyptus deglupta*. Foto: Vanessa Renderos.

Metodología de Toma de Datos

Nitratos en el agua superficial

Con el fin de medir la concentración de nitratos en el agua freática procedente del movimiento vertical, se tomaron muestras en las nacientes u ojos de agua. Asimismo, se obtuvieron muestras en las quebradas que recogen el agua horizontal por escorrentía superficial (incluyendo el agua procedente de las nacientes). Se muestrearon al menos cinco nacientes y cinco quebradas en ambas fincas (Verde Vigor y Santa Fe) y al mismo tiempo se muestrearon cinco quebradas en el bosque, tanto durante la época seca, como en los periodos pre y post-fertilización durante la época lluviosa (hasta octubre). En cada fecha hubo por lo tanto al menos 25 puntos de muestreo. Las muestras colectadas en el campo se filtraron (con filtros "miliporos" de 0,2µm) e inmediatamente después se colocaron en hieleras y luego en un refrigerador a 4°C (por un periodo no mayor de 48 horas),

antes de ser analizadas en el laboratorio. Se compararon las diferencias de calidad del agua de quebradas y nacientes entre fincas, así como entre quebradas y nacientes por fecha dentro de las fincas; para esto se utilizaron pruebas de t-test y de Mann Whitney Wilcoxon en los casos en que los datos no se distribuían normalmente.

Nitratos en el suelo

En la finca Santa Fe se escogieron dos plantaciones adyacentes (café con eucalipto y café a pleno sol), en las cuales el café fue establecido en 1988 y tuvieron la misma historia y el mismo manejo. Dado que no había otra pareja de parcelas con las mismas condiciones, no fue posible obtener repeticiones. Los eucaliptos fueron plantados en 1995 y las plantaciones fueron fertilizadas por última vez el 4 de mayo del 2001. El 23 de junio del 2001 se tomaron muestras de suelos a 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm de profundidad, con cinco muestras compuestas en cada plantación. Cada muestra compuesta estaba formada por cinco sub-muestras tomadas a 50 cm de distancia una de otra y a 40 cm de una línea de cafetos

Nitratos en la solución del suelo

En la finca Santa Fe se establecieron cápsulas de cerámica a 30, 60 y 120 cm de profundidad, con seis repeticiones dentro de cada plantación: café a pleno sol y café con eucalipto. Las extracciones del agua de lixiviación se hicieron desde junio hasta octubre del 2001, a cada 10 días aproximadamente.

Precipitación

La cantidad de lluvia se midió con pluviómetros en cada una de las fincas, obteniendo el promedio de lluvia 15 días antes de cada muestreo, para observar su relación con la concentración de nitratos encontrados en el agua freática y agua superficial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de nitratos en el agua de nacientes y quebradas

En la finca Verde Vigor, la concentración de N-NO₃ en el agua al fin de la estación seca (marzo) fue la más baja: 0,18 mg l⁻¹, tanto en nacientes, como en quebradas. Para cada fecha de muestreo, la tendencia fue de una mayor concentración de nitratos en las nacientes que en las quebradas, pero la diferencia fue significativa solamente en abril (Figura 1). Esto significa que hay más nitratos en el agua freática que en la de escorrentía, concordante con lo mencionado por Petterjhon y Correll (1984). La primera fertilización parece tener

un efecto sobre las concentraciones de nitratos en las nacientes y quebradas, pero esto no ocurrió con la segunda fertilización. Por lo tanto, el aumento de la concentración de nitratos en mayo parece deberse más al inicio de las lluvias que lavan los nitratos contenidos en el suelo hacia la capa de agua freática. Esos nitratos acumulados durante la estación seca en el perfil del suelo provienen de aportes de fertilizantes y de la mineralización lenta del N orgánico del suelo. Es poco probable que la mineralización de la materia orgánica que pudo ocurrir al inicio de la estación lluviosa del 2001 haya tenido el mayor efecto, ya que se constató que luego de la segunda fertilización pasó un mes para que la concentración de nitratos aumentara a 30 cm de profundidad (6 a 40 mg l⁻¹). También, la elevación progresiva del nivel freático al inicio de la estación lluviosa pudo favorecer la captación de nitratos que se encontraban en el suelo. Las nacientes fueron subiendo de nivel durante los primeros muestreos, encontrándose a mayor nivel a finales de mayo y principios de junio; posteriormente los afloramientos de agua fueron bajando lentamente en julio.

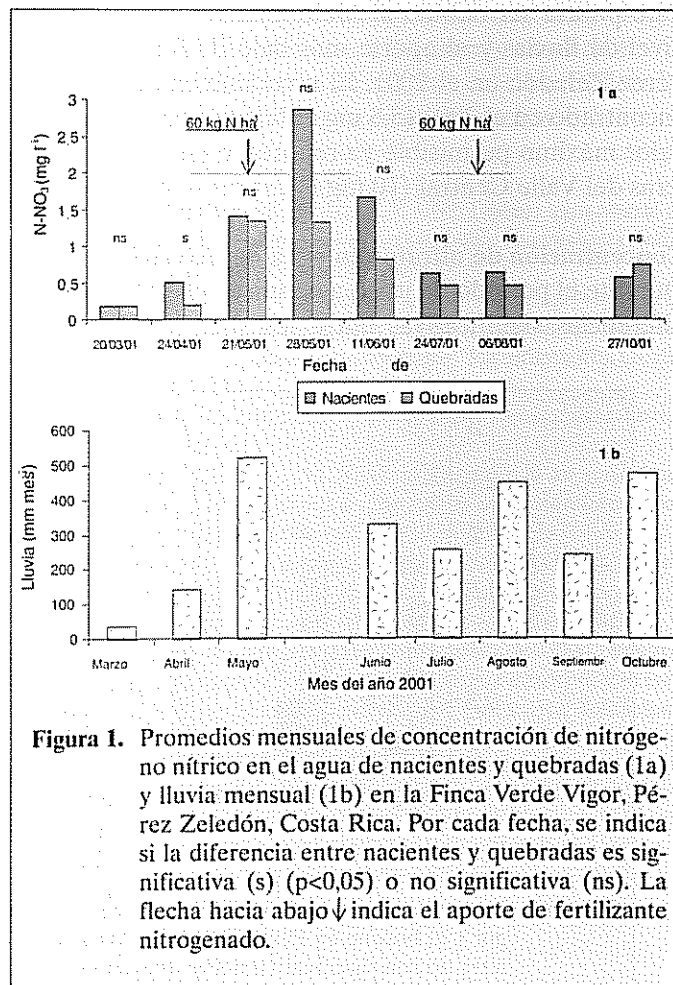


Figura 1. Promedios mensuales de concentración de nitrato-nitrógeno en el agua de nacientes y quebradas (1a) y lluvia mensual (1b) en la Finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica. Por cada fecha, se indica si la diferencia entre nacientes y quebradas es significativa (s) ($p < 0,05$) o no significativa (ns). La flecha hacia abajo \downarrow indica el aporte de fertilizante nitrogenado.

Comparación de concentración de nitratos entre sistemas de café y el bosque

Los promedios anuales de la concentración de nitratos en las nacientes indican valores muy bajos en el bosque y más altos en los sistemas con café, aunque con diferencias entre Santa Fe y Verde Vigor. El bosque es un sistema no perturbado que tiene la capacidad de equilibrar la mineralización y la absorción por las plantas, además de no recibir fertilización química. Por el contrario, los sistemas de café son sistemas artificiales con un desequilibrio en el balance de nutrientes: el aporte de N por los fertilizantes es un flujo enorme que no puede ser completa y rápidamente absorbido por la planta. Los niveles fueron generalmente más altos en Santa Fé que en Verde Vigor y el nivel mínimo fue más alto en Santa Fe (Figura 2). Éstos pueden explicarse por dos razones: i) el tiempo de fertilización más largo en Santa Fé; ii) la mayor cantidad de materia orgánica en el suelo de Santa Fé que puede favorecer un flujo mayor de N mineralizado. Los promedios registrados en Pérez Zeledón son más bajos que aquellos reportados por Reynolds-Vargas *et al* (1994) en zonas urbanas y cafetaleras de manejo intensivo del Valle Central de Costa Rica (Cuadro 1). Esto podría ser debido al suelo menos fértil, al mayor nivel de lluvias y al aporte más bajo de fertilizante en Pérez Zeledón en el 2001. El nivel máximo de N-NO₃ encontrado en el 2001 (5,8 mg l⁻¹) estuvo por debajo del valor máximo permisible ya reportado en áreas cafetaleras del Valle Central (10 mg l⁻¹).

Concentración de nitratos en agua de lixiviación

Durante el periodo de junio a octubre del 2001 no hubo diferencias significativas entre los sistemas de café a

pleno sol y café bajo sombra de eucalipto con respecto a las concentraciones de nitratos en el agua de lixiviación (Figura 3). En el sistema café – eucalipto, el promedio de la concentración de N-NO₃ en el agua libre a 1,2 m de profundidad fue de 6,2 ± 1,3 mg l⁻¹, más bajo que a 0,6 m (12 ± 4 mg l⁻¹), pero más alto que al nivel de las nacientes (1,6 mg l⁻¹). Aunque debe existir una dilución a nivel de la capa freática, es probable que también haya pérdidas por desnitrificación o adsorción de nitratos a más profundidad que 1,2 m, reduciendo la lixiviación hasta el agua freática que surge en las nacientes.

Cuadro 1. Promedios de la concentración de nitrógeno nítrico (mg l⁻¹) en el agua de las fincas Verde Vigor, Santa Fe y el bosque en Pérez Zeledón, Costa Rica. Los promedios seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (p<0,05)

Zona de muestreo	Bosque	Zona cafetalera	
		Verde Vigor	Santa Fe
Nacientes	---	1,01 (ab)	1,62 (a)
Quebradas	0,21 (b)	0,67 (b)	1,5 (a)
Nacientes del Valle Central *	0,37	2,1 a 4,4	

*Fuente: Reynolds-Vargas *et al* (1994).

Concentración de nitratos en el suelo

El 23 de junio (un mes y medio después de la fertilización y de las primeras lluvias fuertes), se observó en Santa Fe un alto contenido de N nítrico en todo el perfil del suelo (Cuadro 2). A pleno sol se observaron mayores concentraciones en los primeros 10 cm que bajo eucalipto y la tendencia, aunque no significativa, se mantuvo hasta los 60 cm. La diferencia puede atribuir-

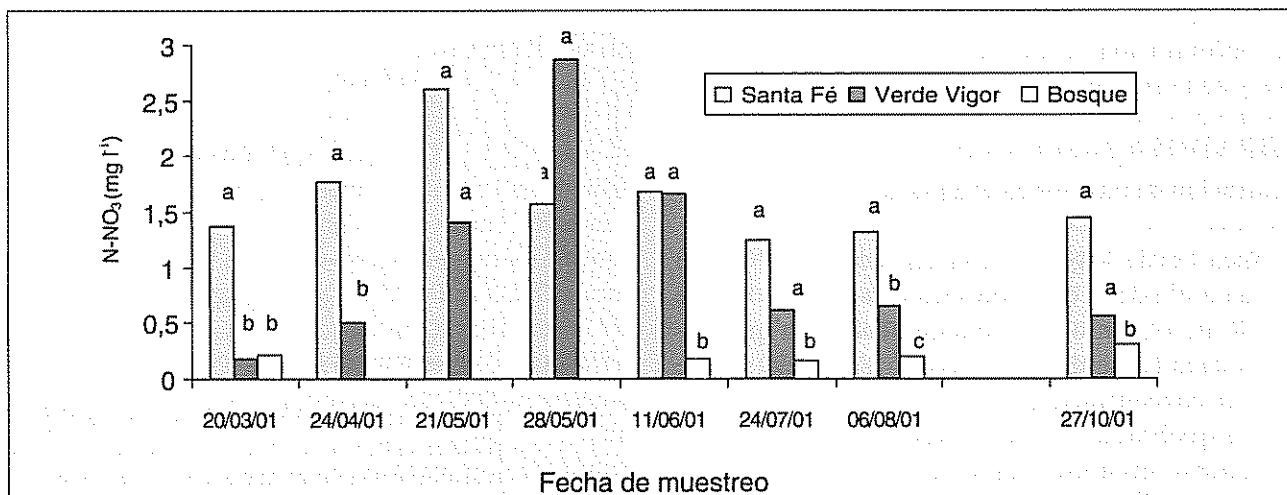


Figura 2. Promedios de concentraciones de nitrógeno nítrico (N-NO₃) en nacientes de las fincas Santa Fe, Verde Vigor y el bosque en Pérez Zeledón, Costa Rica. Los promedios para una fecha dada seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (p<0,05).

Cuadro 2. Concentraciones de nitrógeno nítrico (mg N kg^{-1} de suelo) en el perfil de suelo del sistema café (*Coffea arabica*) a pleno sol y café con eucalipto (*Eucalyptus deglupta*). Finca Santa Fe, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.

Profundidad (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100
Café - eucalipto	13,67*	16,37	13,27	9,81	12,41	10,67	22,53
Café a pleno sol	25,81*	20,59	17,77	16,02	15,32	8,28	12,59

* Promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) en la capa 0-10 cm solamente

se a: i) un eventual efecto del eucalipto como inhibidor de la nitrificación; y/o ii) una mayor absorción de nitratos por el sistema café-eucalipto que posee mucha más biomasa. El contenido de nitratos en el suelo calculado hasta 1 m es alto (130 kg ha^{-1}), lo que hace suponer que muchos de estos nitratos vienen de la acumulación de años de fertilización.

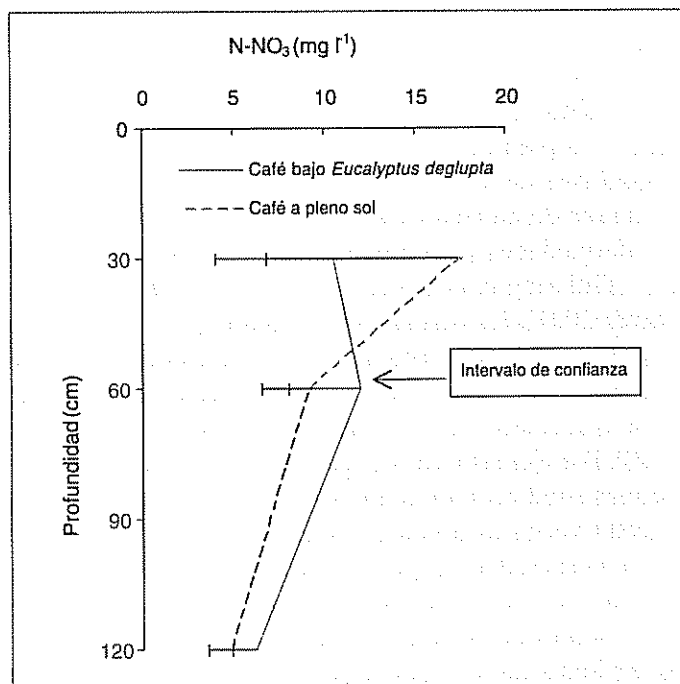


Figura 3. Promedios de concentraciones de nitrógeno nítrico (N-NO_3) en agua de lixiviación de junio a octubre del 2001, bajo dos sistemas de café en la finca Santa Fe, Pérez Zeledón, Costa Rica.

CONCLUSIONES

- La pérdida de nitratos hacia aguas freáticas y superficiales en los sistemas estudiados se ve influenciada por la interacción de diversos factores propios de la zona como el régimen de lluvias, la cantidad de ma-

teria orgánica en el suelo y la historia de fertilización del cultivo.

- Los sistemas de café con eucalipto con más años de fertilización química nitrogenada parecen tener mayor efecto sobre la contaminación de aguas freáticas y superficiales con nitratos.
- La combinación de *E. deglupta* con café parece disminuir el contenido de nitratos de la capa superficial del suelo, lo cual podría reducir las pérdidas de nitratos por lixiviación y desnitrificación.
- Los niveles de contaminación por nitratos encontrados en el 2001 en Pérez Zeledón son más bajos que aquellos reportados en zonas cafetaleras del Valle Central de Costa Rica.
- Los bajos niveles de nitratos encontrados en el agua freática pueden deberse a un grande nivel de lluvia, a la alta acumulación de nitratos en el perfil del suelo y/o a las pérdidas por desnitrificación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Agrawal, GD; Lunkad, SK; Malkhed, T. 1997. Diffuse agricultural nitrate pollution of ground-waters in India. Kurukshetra, India. Institute of Environmental Science. 14 p.
- Babbar, LI; Zak, DR. 1995. Nitrogen loss from coffee agroecosystems in Costa Rica: leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees. *Journal of Environmental Quality* 24 (2): 227-233.
- Carvajal, JF. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. Berna, Suiza. Instituto de la Potasa.
- Petterjhon, W; Correll, D. 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology* 65 (5): 1466-1475.
- Reynolds, JS. 1991. Soil nitrogen dynamic in relation to ground water contamination in the Valle Central Costa Rica. Ph.D. dissertation. University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Reynolds-Vargas, JS; Ritcher, DD; Bornemisza, E. 1994. Environmental impacts of nitrification and nitrate adsorption in fertilized andisols in the Valle Central of Costa Rica. *Soil Science* 157 (52): 289-299.
- Sommer, K. 1978. Use of radioisotopes in agriculture. Report to the government of Costa Rica. International Atomic Agency-TA. Report N°1360.

¿Cómo hacerlo?

Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales

Eduardo Somarriba¹

Palabras claves: Agroforestería; dosel; espaciamientos; *Coffea arabica*; *Theobroma cacao*; sistemas multiestratos.

Varios cultivos perennes tropicales importantes (café –*Coffea arabica*–, cacao –*Theobroma cacao*–, té –*Camelia sinensis*–, vainilla –*Vanilla planifolia*–, pimienta negra –*Piper nigrum*–, cardamomo –*Elattaria cardamomum*–, yerba mate –*Ilex paraguarensis*, cupuacú –*Theobroma grandiflorum*–) se cultivan bajo un dosel de sombra. Un **dosel** es el conjunto de hojas y ramas ubicado a cierta altura sobre el piso de la plantación. Las alturas se definen arbitrariamente. Por ejemplo, el **dosel del cacao** está formado por las ramas y hojas de las plantas de cacao que se ubican entre, digamos, 1,5 m (la base de las copas del cacao) y 7 m (la altura máxima de las copas del cacao). El **dosel de sombra** está formado por las hojas y ramas de las plantas ubicadas entre, digamos, 9 m (la base de las copas) y 25 m (la altura máxima de las plantas de sombra en ese sitio). El dosel se puede estratificar a voluntad para representar una gran variedad de sistemas multiestratos. El término **cacaotal** denota una plantación de cacao, la cual incluye, además del cacao, las plantas del piso, otros cultivos asociados y las plantas del dosel de sombra. Lo mismo aplica para cafetales.

El dosel de sombra puede incluir varias especies arbóreas, bananos, bambúes y palmas, de diferentes edades, todos en densidades variables y en diferentes arreglos verticales y horizontales que dan lugar a una rica variedad de tipologías (Rice y Greenberg 2000; Somarriba *et al* 2003). La mayoría de las plantas del dosel de sombra se mantiene en la plantación porque producen frutas, madera, leña, miel o por su valor para la fauna local, medicina, ornato o rito. Por ejemplo, en los cacaotales Mayas del Distrito de Toledo, Belice, los agricultores mantienen especies melíferas a pesar de que la densidad de sus copas y la arquitectura de las plantas no son “buena sombra” para el cacao. Se ha sugerido dejar de llamar-

las “plantas de sombra” y en lugar de eso llamarlas plantas compañeras (Boa *et al* 2000). Independientemente de la razón por la que se les mantiene dentro de la plantación, todas las plantas del dosel de sombra “dan sombra”.

La sombra (o su inverso, la cantidad de radiación que entra a la plantación) determina la tasa fotosintética de los cultivos de los estratos inferiores, su crecimiento, su demanda de nutrientes y de agua, la dinámica de plagas y enfermedades y eventualmente, la producción comercial (Guharay *et al* 2001; Hagggar *et al* 2001; Hagggar y Staver 2001). La regulación de sombra permite al productor cafetalero ajustarse a las condiciones de fertilidad del suelo, manejar las malezas, regular el microclima para controlar plagas y enfermedades, etc. (Muschler 1999). Por ejemplo, en sitios de baja fertilidad se mantiene más sombra para atenuar la demanda de nutrientes del cultivo; en cacaotales jóvenes, con copas pequeñas y poco desarrolladas que proveen poco autosombreamiento, se mantiene más sombra que en cacaotales adultos porque las hojas tiernas se marchitan fácilmente. Es importante contar con un método rápido, barato y confiable para estimar la cantidad de sombra, evaluar el estado de la plantación y planificar las actividades correctivas necesarias.

En este artículo se presenta un método para estimar visualmente el porcentaje de sombra de cafetales y cacaotales. En las siguientes tres secciones se discuten las ventajas y desventajas de los diferentes métodos utilizados para medir la sombra y se describen los pasos prácticos para estimar visualmente la apertura (o su contrario, la oclusión) de las copas y el porcentaje de sombra en la plantación. En el resto del documento se discute la validez de utilizar círculos para aproximar la forma de las

¹ Profesor – Investigador. CATIE. Líder Grupo Temático: Modernización y Competitividad de la Cacaocultura Latinoamericana E-mail: esomarr@catie.ac.cr (autor para correspondencia)

copas; se analiza la evolución de la sombra al aumentar el diámetro y forma de la copa y el distanciamiento entre plantas; se explora la evolución de la sombra en arreglos cuadrados, rectangulares y triangulares de plantación; se analiza el traslape de copas y se discuten las características de la sombra proyectada por copas en el estrato alto. Al final se mencionan las principales ventajas y limitaciones del método.

LA ESTIMACIÓN DE LA SOMBRA

Los métodos para medir cuánta sombra recibe una plantación pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Los que miden directamente la radiación incidente a una altura determinada.
- Los que miden la apertura del dosel de sombra.

Los métodos del primer grupo pueden medir directamente la radiación incidente a nivel del piso, inmediatamente encima de las copas del cultivo principal o en varios estratos verticales. Esta medición puede expresarse en términos absolutos, ya sean como mediciones radiométricas (por ejemplo: Wm^{-2} , Jm^{-2} , antes también se usaban $cal\ cm^{-2}\ min^{-1}$ y $langleys\ min^{-1}$), de quantum ($\mu mol\ s^{-1}\ m^{-2}$), fotométricas (lux) o en términos relativos (porcentajes de la cantidad de radiación que se recibe a pleno sol). Las mediciones pueden ser instantáneas o acumular la radiación recibida en un sitio dado por un cierto tiempo. Se puede evaluar la radiación solar global o solamente parte del espectro; por ejemplo, la radiación fotosintéticamente activa (0,4-0,7 μm). Los instrumentos utilizados para estas mediciones son numerosos (World Meteorological Organization 1986).

Los métodos e instrumentos del primer grupo generalmente requieren de condiciones ambientales y procedimientos de medición y análisis complejos y caros. Por ejemplo, si se utilizan valores absolutos de radiación y se pretende realizar comparaciones entre varios sitios o tratamientos experimentales, las mediciones tienen que realizarse simultáneamente en las mismas fechas y horas, a menos que se utilicen acumuladores de radiación, los cuales deben dejarse en el campo durante el periodo de interés y ponen en riesgo la seguridad y manipulación de los instrumentos (por ejemplo, cuando se hace investigación fuera de las condiciones controladas de la estación experimental). Si se pretende obtener estimaciones relativas, se deben tomar simultáneamente mediciones bajo sombra y a pleno sol, lo cual dificulta aún más la comparación simultánea entre sitios y tratamientos.

En el segundo grupo se incluyen los métodos que miden la oclusión o la apertura del dosel de sombra, el cual bloquea (o permite el paso de) la radiación. En este grupo se encuentran las fotografías hemisféricas y los densitómetros ópticos (hemisféricos o de punto). Si se combina la información de apertura del dosel con la ubicación geográfica, el día y la hora de la evaluación (que determinan la declinación y altura solar) se puede estimar la radiación recibida en cualquier sitio sobre la tierra. Por supuesto, esta estimación no toma en cuenta las condiciones locales de nubosidad y orografía que pueden modificar sustancialmente la radiación recibida en una localidad en un momento dado.

Gracias a que la presencia de la ramas y hojas es "estática" (es decir, no cambia tanto, ni tan rápido como los flujos de radiación), los métodos basados en la oclusión del dosel se prestan para mediciones y comparaciones, simultáneas o no, entre tratamientos. Sin embargo, también tienen limitaciones. Por ejemplo, el software para interpretar las fotografías hemisféricas requiere que las condiciones de nubosidad sean homogéneas para diferenciar entre píxeles bloqueados por follaje y ramas de aquellos bloqueados por parches nubosos (Rich 1990). Varios tipos de densitómetros ópticos obvian estos problemas y son recomendados para estimaciones rápidas del porcentaje del dosel de sombra que impide el paso de la radiación. Sin embargo, estos instrumentos son difíciles de obtener para la mayoría de los productores y agentes de extensión.

El método presentado en este artículo pertenece a esta segunda familia de métodos. El porcentaje de sombra que recibe un cultivo se estima con base en la oclusión, el diámetro de copa y la densidad poblacional de las plantas del dosel de sombra.

¿CÓMO ESTIMAR VISUALMENTE CUÁN CERRADA (OCLUIDA) ES UNA COPA?

Los pasos son los siguientes:

- Delinee el perímetro de la copa, caminando varias veces por la periferia, marcando temporalmente en el suelo varias proyecciones del borde de la copa hasta visualizar la figura de la copa (la proyección plana de la copa sobre el suelo). A la vez que se delinea el perímetro, se pueden medir los ejes para estimar el diámetro promedio de la copa.
- Párese en la base del árbol, mire hacia arriba y observe la copa en todas direcciones, buscando seleccionar un "eje de corte" que la divida en dos mitades

iguales (lados A y B). A veces, una copa puede partirse en mitades iguales tomando diferentes ejes de corte (Figura 1). Las mitades se dividen en cuartos (Q1-Q4).

- Observe bien las dimensiones de las masas de follaje y de los “huecos” abiertos en cada mitad de copa. Habiendo cuantificado mentalmente el espacio bloqueado y el espacio abierto en cada mitad de la copa, “mueva mentalmente” el área bloqueada de una mitad a la otra y pregúntese si al mover lo tapado de A a B:

1. ¿Se tapa exactamente el lado B? En caso afirmativo, la oclusión de la copa sería 0,5 (o el 50%).

2. ¿No se llena B? En caso afirmativo se sabrá que la oclusión es <50%, pero habrá que estimar cuánto menos. Para esto, partimos la mitad B en cuartos y preguntamos:

- ¿Se llena exactamente un cuarto? En caso afirmativo la oclusión es del 25%.
- ¿Es más de un cuarto? ¿Cuánto? Para esto, dividimos el cuarto en octavos (un octavo equivale al 12% del área de copa) y después de una rápida reflexión, “al ojo” hacemos una estimación final de la oclusión de la copa. Por ejemplo, si después de considerarlo decidimos que el exceso no llena un octavo, la estimación final de oclusión variará entre 25 – 37%.
- ¿Es menos de un cuarto? ¿Cuánto? Aplicamos el procedimiento recién descrito: dividimos el cuarto en octavos y estimamos al ojo.

3. ¿Se excede B? En caso afirmativo sabremos que la oclusión es >50%. ¿Cuánto se excede? Aplicamos el mismo procedimiento descrito en el paso 2.

La estimación visual de áreas y fracciones se utiliza en fitopatología para estimar la severidad de las lesiones de patógenos sobre la lámina foliar (van Schoonhoven y Pastor-Corrales 1987), en agrostología para estimar la biomasa forrajera antes y después del pastoreo (Shaw et al 1976) y en agroforestería para la regulación de sombra en cacaotales (Somarriba et al 1996).

¿CÓMO ESTIMAR EL PORCENTAJE DE SOMBRA QUE RECIBE UN CULTIVO?

Es necesario tomar cuatro medidas básicas:

- El área total de la plantación o parcela de muestreo (**at**);
- el número de árboles (**n**) en **at**;
- el diámetro de copa promedio (**d**) o los diámetros de copa de cada árbol (**di**); y
- la oclusión promedio de las copas (**o**) ó la oclusión de la copa de cada árbol (**oi**).

El algoritmo de cálculo es sencillo:

- Con el diámetro de copa (**d** o **di**) calculamos el área de proyección vertical de la copa (**a** o **ai**) suponiendo una forma circular [**a** = **d**²*($\pi/4$)];
- ajustamos el área de proyección de copa con el factor de oclusión de la copa (**o** u **oi**) para estimar el área “tapada” por árbol (p.ej., **a*****o**);

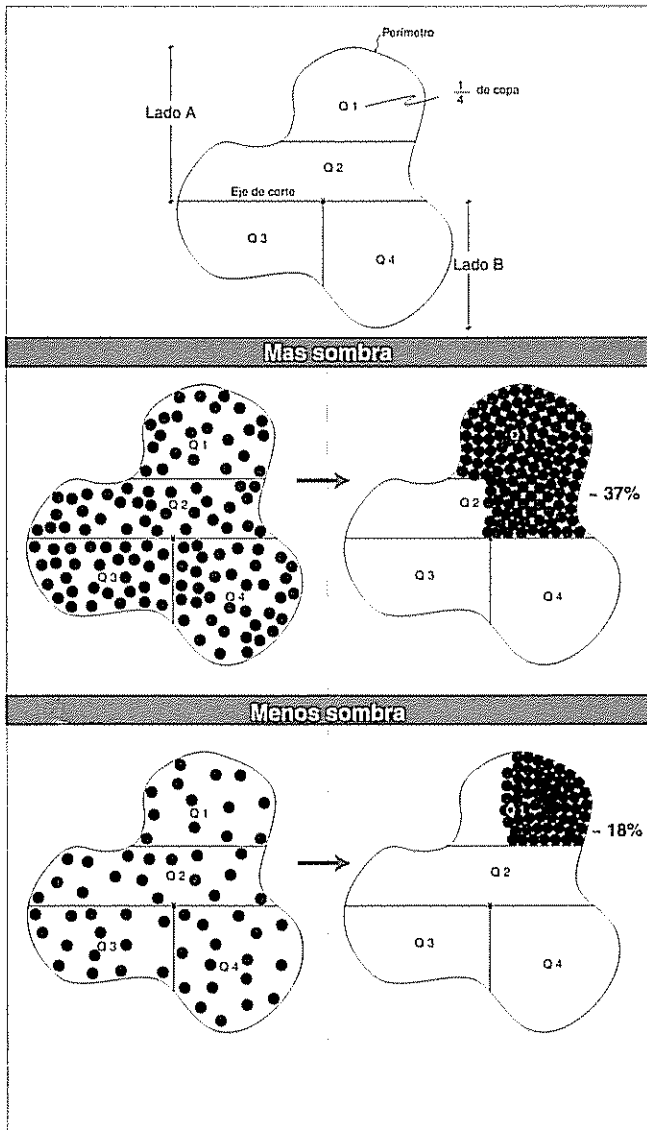


Figura 1. Estimación visual del porcentaje de oclusión de la copa.

- estimamos la superficie tapada en toda la plantación o parcela de muestreo (**b**) expandiendo el área por árbol a toda la población arbórea ($b = n \cdot a \cdot o$); y
- dividimos el área tapada "**b**" entre el área total de la plantación o parcela (**a**), y lo expresamos en porcentaje [p.ej., $100 \cdot (b/a)$].

Por ejemplo, si la plantación mide 0,8 ha ($a_t = 8000 \text{ m}^2$) y contiene $n = 50$ árboles de guaba (*Inga spp.*) con un diámetro promedio de copa $d = 8 \text{ m}$ (área circular por árbol de $50,26 \text{ m}^2$) y una oclusión de copa estimada en $o = 0,45$, el área bloqueada por árbol es de $50,26 \cdot 0,45 = 22,62 \text{ m}^2$ y el porcentaje de sombra del dosel es $b = 100 \cdot (22,62 \cdot 50) / 8000 = 14\%$, aproximadamente. Los valores promedios pueden dar una buena aproximación en doseles mono-específicos, con árboles plantados en arreglos regulares, de similar tamaño y manejo. En doseles heterogéneos se utilizan datos por árbol.

¿ES RAZONABLE SUPONER QUE LAS COPAS PROYECTAN SOMBRAS CIRCULARES?

El círculo es la forma de la proyección vertical de las copas de árboles con copas de formas regulares (elipsoidales y semi-elipsoidales, cilíndricas, esféricas, semiesféricas y cónicas). En doseles mono-estratificados (donde las copas se ubican en el mismo estrato vertical) y saturados (donde las copas de todos los árboles "se tocan" con las de sus vecinos), las copas adoptan formas prácticamente cuadradas o poligonales de muchos lados para los que el círculo es una buena aproximación. Aún en doseles insaturados, donde las copas de los árboles crecen sin tocarse con las de sus vecinos, la mayoría de los árboles desarrollan copas con formas aproximadamente regulares.

LA ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO DE COPAS IRREGULARES

La poda puede producir copas de formas totalmente irregulares (p. ej., *Inga spp.* o *Erythrina spp.* en cafetales). En la Figura 2 se explora un caso hipotético en el que una copa irregular de área conocida (a_c) es estimada por el área de un círculo (a_e) de diámetro promedio "**d**". Interesa determinar en cuántos ejes, espaciados regularmente a lo largo del perímetro de la copa, hay que medir el diámetro de la copa para estimar **d**, de modo que se minimice el error de estimación de a_c . El error se mide como:

$$\text{Error} = 100 \cdot \left(\frac{a_c - a_e}{a_c} \right) \quad [1]$$

El tamaño de muestra requerido para reducir el error depende de la irregularidad de la copa:

- Si la copa es perfectamente circular, un solo eje de medición bastará para estimar **d** y reducir a cero el error.
- Si la forma de la copa departe de la forma del círculo, se necesitará medir más ejes para estimar **d**; entre más irregular la copa, mayor el número de ejes que hay que medir. Once ejes de medición redujeron el error al 2% en la copa irregular de la Figura 2.

Se recomienda medir el diámetro de la copa en 6-12 ejes, igualmente espaciados (60° o 30° de distanciamiento angular entre ejes, respectivamente), para estimar **d**.

Eje	d (m)	\bar{d} (m)	Error (%)
1	16	16,00	99,00
2	8	12,00	12,00
3	16	13,30	37,55
4	14	13,50	41,72
5	11	13,00	31,41
6	11	12,67	24,83
7	8	12,00	11,97
8	10	11,75	7,35
9	11	11,67	5,90
10	10	11,50	2,84
11	11	11,45	1,95

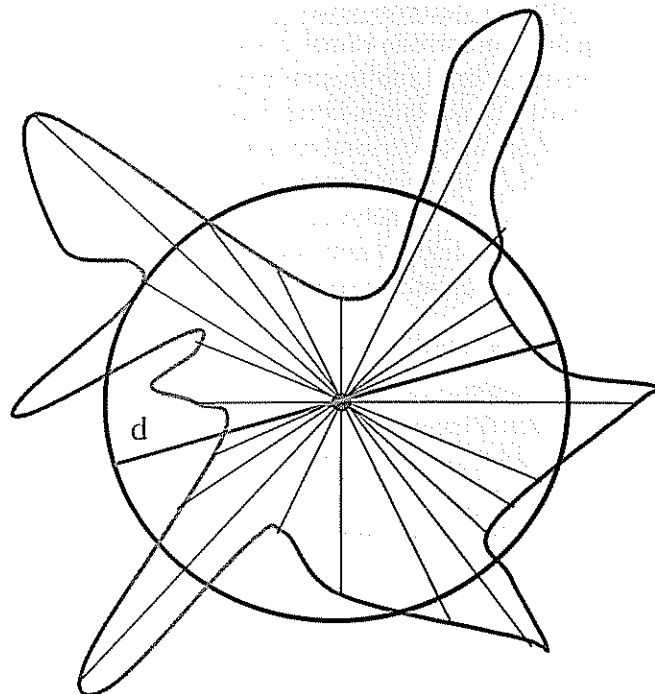


Figura 2. Error de estimación del área de copa usando un número variable de ejes de medición para estimar diámetro promedio de la copa (d)

ARREGLOS DE PLANTACIÓN

Los productores tratan de distribuir uniformemente la sombra por toda la plantación para que las plantas de café o cacao desarrollen y cosechen en forma homogénea. Para homogenizar la sombra, se siembran plantas de sombra y otras especies valiosas (p. ej., *Cedrela odorata* en los cafetales de Turrialba, Costa Rica) y se ralea selectivamente la regeneración natural. *Inga* spp., *Erythrina* spp. o *Gliricida sepium* son las principales especies de sombra plantadas en los cafetales y cacaoales de Centroamérica. Los arreglos cuadrados (p. ej., 6 x 6 m, 10 x 10 m) o ligeramente rectangulares (p. ej., 6 x 9, 8 x 11, 9 x 12, 10 x 15, 15 x 20, 20 x 30 m) son los preferidos; los arreglos triangulares se utilizan poco.

Arreglos fuertemente rectangulares, como rompevientos y barreras vivas para proveer sombra lateral, se utilizan en forma rutinaria en algunas zonas cafetaleras (Somarriba et al 2003). Por ejemplo, en los departamentos de Santa Ana y Ahuachapán, El Salvador, una zona nubosa, los cafetales se protegen del viento con cortinas de copalchi (*Croton reflexifolius*) a 1,0 m entre plantas y 30-50 m entre cortinas (Escalante 2000). En sitios ventosos pero soleados, los agricultores plantan pepeto peludo (*Inga punctata*) a 14 x 14 m (51 árboles ha⁻¹) en las franjas entre cortinas.

Si las cortinas y barreras vivas son muy densas, la copa de cada árbol desarrolla ramas cortas y delgadas dentro de la cortina (por el fuerte sombreado entre árboles vecinos) y ramas largas entre cortinas, formando una "franja rectangular" de sombra a lo largo de la cortina. Conociendo la distancia entre cortinas, el ancho de la franja de sombra (el ancho de la copa) y la oclusión de las copas (generalmente muy alta), se puede estimar fácilmente el porcentaje de sombra en estas plantaciones.

ESPACIAMIENTOS

El espaciamiento (y por ende, la densidad de población) de los árboles de sombra depende de cómo se maneja la forma y el tamaño del árbol:

- Si los árboles son grandes, solo se mantienen pocos árboles por hectárea y viceversa. Por ejemplo, en los cafetales de El Crucero, Nicaragua, la sombra la proveen grandes árboles de chilamate (*Ficus isophlebia*) plantados a razón de 25 árboles ha⁻¹ con copas que alcanzan >20 m de diámetro (Bonilla 1999). A los chilamates (que ramifican en verticilios cuando están desarrollando en altura) se les aplica la práctica del descentrado, la cual consiste en

eliminar (a 10-15 m de altura) el eje central del árbol para que las ramas de los verticilios debajo del corte crezcan hacia arriba y hacia fuera del eje del tronco, expandiendo la copa y diluyendo la sombra. Las ramificaciones secundarias y terciarias finalmente "llenan el hueco del centro de la copa" y crean una sola capa de hojas en la punta de las ramas. Después del descentrado, los árboles se dejan prácticamente a libre crecimiento. Este tipo de doseses, con pocos árboles grandes espaciados ampliamente, se conoce en la literatura inglesa como "parkland agroforestry", por su semejanza con la arborización de parques recreativos.

- Si los árboles de sombra son de porte pequeño (por podas o por su hábito natural de crecimiento) se plantan a mayores densidades. Por ejemplo, en muchos cafetales de Costa Rica la sombra la proveen estacones de poró (*E. poeppigiana*) plantados generalmente a 278 árboles ha⁻¹ (espaciamiento equivalente a 6 x 6 m), con dos descopas totales por año (en enero después de la cosecha del café y en julio al inicio de la maduración y la cosecha). Algunas fincas (incluyendo orgánicas) mantienen hasta 500 árboles ha⁻¹ (espaciamiento equivalente a 4,5 x 4,5 m) de poró, pero con tres podas al año. Árboles de poró a libre crecimiento (sin podas) se plantan a razón de 40-70 árboles ha⁻¹ (espaciamientos equivalentes entre 15 x 15 y 12 x 12 m) en los cafetales de Dipilto, Nicaragua (observaciones personales).

DESARROLLO DE COPAS Y SOMBRA

En cafetales y cacaoales con sombra mono-específica, en arreglos cuadrados, rectangulares y triangulares y a diferentes espaciamientos, la sombra y el "cierre" del dosel evolucionan con el desarrollo de las copas, es decir, con el aumento del diámetro de copa. Hay varias etapas críticas (Figura 3):

- Cuando el diámetro de copa es menor que el espaciamiento, la plantación incluye dos condiciones de sombra: 1) sin sombra y 2) con sombra. A medida que aumenta *d*, se reduce el área sin sombra y se aumenta el área con sombra.
- Cuando el diámetro de copa es igual al espaciamiento, las copas de los árboles vecinos apenas se tocan sin traslaparse.
- Cuando el diámetro de copa es mayor que el espaciamiento, las copas de árboles vecinos se cruzan y se produce una tercera condición de sombra: 3)

sombra con traslape. A medida que el diámetro de copa crece y aumenta el grado de traslape, se llega a una situación donde desaparece el espacio sin sombra y solo prevalecen las condiciones de sombra con y sin traslape.

En el Anexo 1 se presenta la distribución porcentual de las tres condiciones de sombra (sin sombra, sombra con y sin traslape) en las etapas críticas del desarrollo del diámetro de la copa en arreglos rectangulares, cuadrados y triangulares.

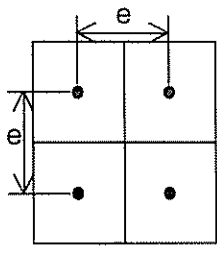
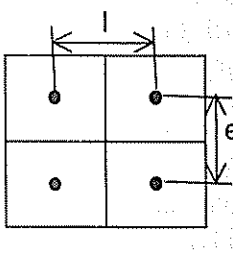
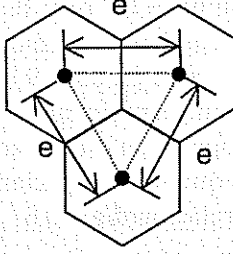
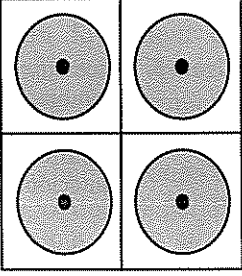
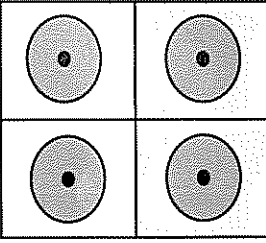
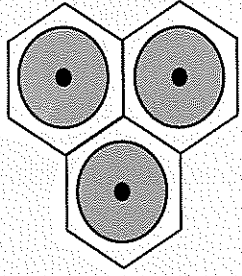
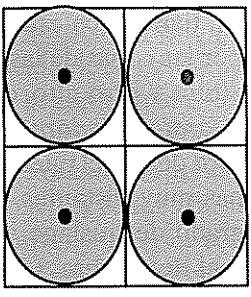
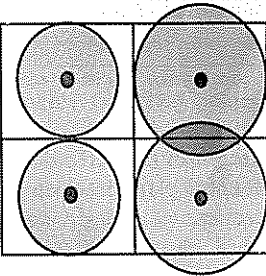
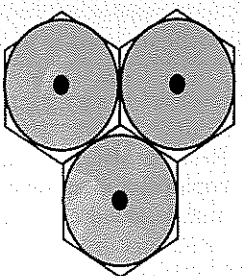
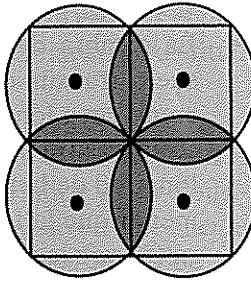
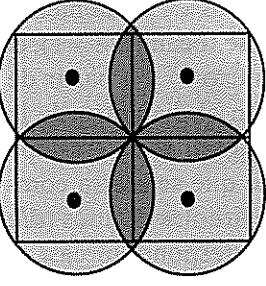
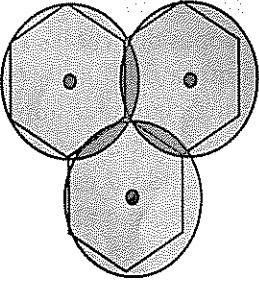
Condición	Cuadrados	Rectangulares	Triangulares
			
Diámetro de copa menor que el espaciamiento			
Diámetro de copa igual al espaciamiento (largo, en caso de arreglos rectangulares).			
Se cierra todo el dosel; no hay espacio abierto			

Figura 3. Condiciones de sombra (sin sombra, sombra con y sin traslape) en tres momentos críticos del desarrollo de la copa y en arreglos de plantación rectangulares, cuadrados y triangulares.

TRASLAPE DE COPAS

Si las copas de dos árboles vecinos se encuentran a la misma altura y sus copas se traslapan, decimos que ocurre traslape a nivel. El traslape ocurre cuando el diámetro de copa (**d**) es mayor que el espaciamiento mínimo entre los árboles (**e**). En arreglos cuadrados y triangulares, se puede utilizar la relación **d/e** para modelar la evolución del traslape de copa entre árboles vecinos (ver Figura 4 para arreglos cuadrados). Por ejemplo, si conocemos el espaciamiento, digamos 12 m, y sabemos que con la especie local de sombra se debe mantener una relación **d/e** = 0,8 para la producir bien café, el nomograma en la Figura 4 indica que se debe mantener el diámetro de copa en unos 9 m. Otra aplicación. Si sabemos que una especie maderable alcanza 15 m de diámetro de copa en su estado adulto, el nomograma indica que se requiere un espaciamiento de unos 19 m para lograr una relación **d/e** = 0,8.

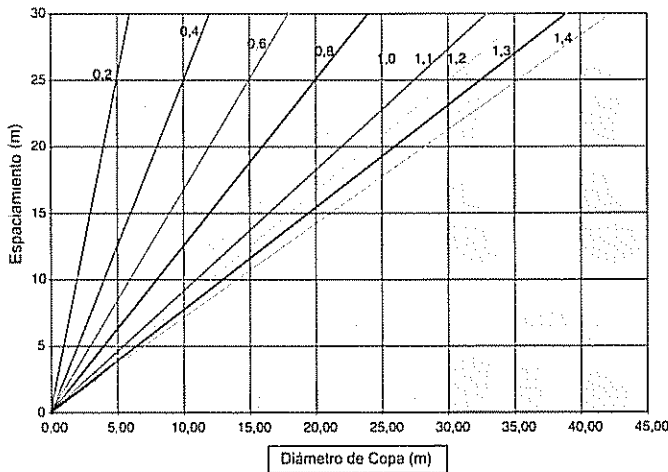


Figura 4. Relación **d/e** ante variaciones en el diámetro de copa (**d**) y el espaciamiento entre plantas (**e**) en arreglos cuadrados de plantación.

El área bajo cada condición de sombra cambia con la relación **d/e**. Así, en arreglos cuadrados, en el momento en que las copas de árboles vecinos se tocan (**d/e** = 1), el área sin sombra es 21,46% (ver Anexo 1) y a partir de ese momento, cualquier aumento en el diámetro de la copa se traduce en un aumento en el área de traslape (Figura 5). Cuando **d** es tan grande que se cierra completamente el espacio abierto entre árboles vecinos (**d/e** = $\sqrt{2}$ = 1,41), el área traslapada corresponde a casi el 60% del área total ocluida. En el campo es poco común encontrar tal grado de traslape entre copas vecinas.

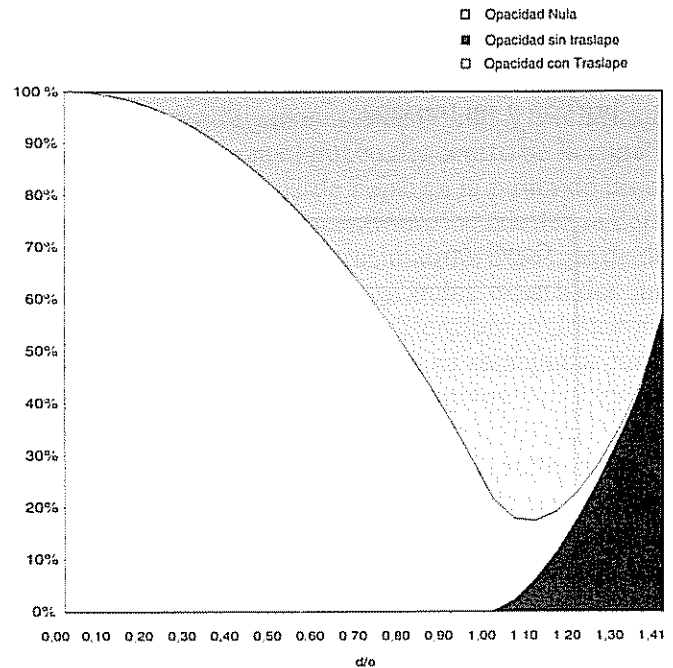


Figura 5. Porcentaje del área sin sombra, sombra sin traslape y sombra con traslape ante diferentes valores de la relación entre el diámetro de copa (**d**) y el espaciamiento entre árboles (**e**) en arreglos cuadrados de plantación.

SOMBRA ALTA

Algunos cacaotales indígenas de Talamanca, Costa Rica, tienen dos estratos de sombra: uno bajo dominado por las copas de las guabas (*Inga spp.*) entre 10-18 m de altura y otro alto, dominado por la presencia de laurel (*Cordia alliodora*) entre 30-35 m. Un árbol de guaba y otro de laurel pueden estar muy juntos en el piso, sus copas muy distantes verticalmente una de otra, con alto grado de traslape vertical pero con muy poco traslape real de sombra. Los agricultores saben que “la sombra baja es densa y que la sombra alta es rala”. ¿Por qué?

- La sombra de una copa a cierta altura sobre el suelo, transita diariamente sobre una franja de terreno cuya longitud depende de la altura a la que se encuentra la copa. Si la copa está baja (10 m), la longitud de la trayectoria diaria de la sombra será menor que la trayectoria de una copa a gran altura (35 m); la sombra transita más rápidamente sobre su trayectoria cuando la copa está alta (Quesada *et al* 1987).

- Si la sombra pasa rápido sobre todos los puntos de la trayectoria, cada punto recibe pocas horas de sombra por día. Si en la trayectoria hay copas de otras plantas de sombra en los estratos más bajos, la duración efectiva del traslape vertical entre las copas es insignificante.
- Si los estratos de sombra están ampliamente espaciados verticalmente, mucha radiación directa oblicua pasa entre las copas y alcanza los doseles bajos de la plantación.
- Si la sombra alta es rala: ¿Se podrían poner en el dosel alto algunas especies valiosas pero que tienen copas muy opacas?, ¿Qué densidades de éstas y otras especies debemos mantener en el dosel alto?, ¿Se podrían plantar árboles valiosos, altos y de hoja fina a altas densidades sin sombrear excesivamente a los estratos inferiores?

LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

El método descrito en este artículo para estimar visualmente el porcentaje de sombra de un dosel tiene dos fuentes importantes de error: 1) la estimación visual de cuán abierta o cerrada es la copa y 2) el delineamiento del perímetro y la estimación del diámetro promedio de copa. La dificultad para estimar cuán abierta es una copa depende en gran medida del tipo de follaje. Por ejemplo, es más difícil estimar visualmente la oclusión de la copa en plantas con follaje muy fino (como las de la familia Mimosoidae) que en plantas de hojas grandes y oscuras. La forma de la proyección vertical de la copa tiene muy poco impacto en la estimación de su oclusión. El error de delinear el perímetro de la copa en árboles altos se puede minimizar utilizando un densitómetro óptico de punto (GRS Densitometer, Forestry Suppliers 2002-2003, www.forestry-suppliers.com), el cual es básicamente un pequeño periscopio con nivel y un visor con un punto central para determinar si la línea de visión toca o no el perímetro de la copa. Se ha mostrado que midiendo un número suficiente de ejes para estimar el diámetro promedio de copa se puede estimar con exactitud el área real de copas irregulares.

El método presentado en este artículo está basado en la proyección vertical del dosel de sombra y por consiguiente, considera únicamente la radiación que incide perpendicularmente sobre la plantación. Fuera de los trópicos, y a medida que nos acercamos a los polos, toda la radiación que incide sobre una plantación (¡ya no de café ni cacao, por supuesto!) es oblicua y por eso las interpretaciones derivadas en este artículo son más aplicables a condiciones tropicales.

A pesar de estas limitaciones, la estimación visual de la sombra es una herramienta rápida, barata y de gran valor para el manejo agroforestal de cafetales y cacaotales. Es importante que el especialista agroforestal “afine su ojo” y calibre sus estimaciones visuales con mediciones de densitómetros ópticos o fotografías hemisféricas. La práctica hace al maestro, por lo que se recomienda evaluar la oclusión de la copa de cada árbol, palma, etc. que encontremos a nuestro paso, estimar visualmente las dimensiones de las copas, los espaciamientos promedios entre árboles, las densidades y el porcentaje de sombra del dosel de cada cacaotal y cafetal que visitamos. El especialista agroforestal dispone de una gran variedad de formas, tamaños y oclusiones de copa para optimizar el diseño agroforestal de cacaotales y cafetales.

AGRADECIMIENTOS

Las figuras fueron elaboradas por Eduardo Somarriba Lucas y Rocío Jiménez. Los cálculos presentados en el Anexo 1 fueron realizados por Francisco Quesada, Escuela de Matemáticas, UCR, E. Somarriba Lucas y el autor. Francisco Jiménez proporcionó información sobre las unidades de medición de la radiación solar utilizadas regularmente. Rocío Jiménez elaboró la Figura 2. John Beer y Guillermo Detlefsen revisaron y comentaron el documento.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Boa, E; Bentley, J; Stonehouse, J. 2000. Cacao and neighbour trees in Ecuador. How and why farmers manage trees for shade and other purposes. UK, CABI Bioscience, Final Technical Report 45 p
- Bonilla, G. 1999. Tipologías cafetaleras en el Pacífico de Nicaragua. Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, CATIE. 70 p
- Escalante, M. 2000. Diseño y manejo de cafetales del occidente de El Salvador. Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, CATIE. 70 p
- Guharay, F; Monterroso, D; Staver, C. 2001. El diseño y manejo de la sombra para la supresión de plagas en cafetales de América Central. *Agroforestería en las Américas* 8(29):22-29.
- Haggar, J; Schibli, C; Staver, C. 2001. ¿Cómo manejar árboles de sombra en cafetales? *Agroforestería en las Américas* 8(29):37-41
- Haggar, J; Staver, C. 2001. ¿Cómo determinar la cantidad de sombra que disminuya los problemas fitosanitarios de café? *Agroforestería en las Américas* 8(29):42-45
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 137 p. (Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal no 5)
- Quesada, F; Somarriba, E; Vargas, E. 1987. Modelo para la simulación de patrones de sombra de árboles. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 91 p. (Serie Técnica Informe Técnico no. 118)
- Rice, A; Greenberg, R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29 (3): 167 – 173.
- Rich, PM. 1990. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote Sensing Reviews* 5(1):13-29.
- Shaw, NH; tMannetje, L; Jones RM; Jones, RI. 1976. Pasture measurements. *In* Tropical pasture research: principles and methods.

Eds NH Shaw; WW Bryan Farnham Royal, Bucks, England Commonwealth Agricultural Bureaux p 235-250.
 Van Schoonhoven, A; Pastor-Corrales, MA, Comps 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol Cali, Colombia, CIAT. 56 p.
 Somarriba, E; Beer, J; Bonnemann; A. 1996 Árboles leguminosos y maderables como sombra para cacao El concepto. Turrialba, Costa Rica, CATIE 51 p (Serie Técnica, Informe Técnico no. 274)

Somarriba, E; Harvey, C; Samper, M; Anthony, F; González, J; Staver, C; Rice, R 2003 Conservation of biodiversity in neotropical coffee (*Coffea arabica*) plantations. In Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Eds. G Schroth; G Fonseca; C A. Harvey; C. Gascon; H. Vasconcelos; A M N Izac Washington Island Press (en imprenta).
 World Meteorological Organization 1986 Revised instruction manual on radiation instruments and measurements. WCRP Publications Series No 7. 140 p.

Anexo 1. En toda plantación, cada planta del dosel de sombra “dispone” de un territorio propio, centrado en el sitio de siembra y cuya forma y dimensiones dependen del espaciamiento entre plantas (e) y del arreglo de plantación (ver Figura 3). Al territorio propio de cada planta lo llamamos “área tributaria”. En el cuadro de abajo se presentan los porcentajes del área tributaria bajo cada condición de sombra, en tres etapas críticas de desarrollo del diámetro de copa, en arreglos cuadrados, rectangulares o triangulares de plantación y en función del espaciamiento.

Condiciones de las copas	Arreglos cuadrados	Arreglos rectangulares	Arreglos triangulares
Copas no se tocan:	d < espaciamiento “e”	Ancho rectángulo = espaciamiento “e”	d < espaciamiento “e”
Sombra sin traslape	$(\frac{\pi}{4})(\frac{d}{e})^2 \times 100$	$\frac{\pi}{4k} (\frac{d}{e})^2 \times 100$	$\frac{\sqrt{3}\pi}{6} (\frac{d}{e})^2 \times 100$
Sombra con traslape	0%	0%	0%
Sin sombra	$[1 - (\pi/4) (\frac{d}{e})^2] \times 100$	$(1 - \frac{\pi}{4k} (\frac{d}{e})^2) \times 100$	$(1 - \frac{\sqrt{3}\pi}{6} (\frac{d}{e})^2) \times 100$
Copas apenas se tocan	d = espaciamiento “e”	d = espaciamiento corto “e”	d = espaciamiento “e”
Sombra sin traslape	$(\pi/4) \times 100 = 78,5\%$	$\frac{\pi}{4k} \times 100$	$\frac{\sqrt{3}\pi}{6} = 91\%$
Sombra con traslape	0%	0%	0%
Sin sombra	100 - 78,5 = 21,5%	$(1 - \frac{\pi}{4k}) \times 100$	100 - 91 = 9%
Desaparece el espacio abierto.	$d = \sqrt{2}e$	Sólo si $k \leq \sqrt{3}$: Ahora $d = e\sqrt{1+k^2}$	$d = \frac{2e}{\sqrt{3}}$
Sombra sin traslape	100 - 57 = 43%	$(2 - \frac{(1+k^2)}{2k} (\tan^{-1}(k) + \tan^{-1}(k^{-1}))) \times 100$	100 - 21 = 79%
Sombra con traslape	$(\frac{\pi-2}{2}) \times 100 = 57\%$	$(\frac{(1+k^2)}{2k} (\tan^{-1}(k) + \tan^{-1}(k^{-1})) - 1) \times 100$	$\frac{2\pi\sqrt{3}-9}{9} \times 100 = 21\%$
Sin sombra	0%	0%	0%

Símbolos: d = diámetro de copa; e = espaciamiento. En arreglos rectangulares: e = ancho; l = largo; k = factor de proporcionalidad; es decir l = k*e. En el caso rectangular, si el factor k es mayor que la raíz cuadrada de tres, entonces si la copa circunscribe al rectángulo tributario (el diámetro de la copa debe ser igual a la diagonal del mismo) ocurriría que la copa invade más allá del tronco del árbol vecino más cercano, situación que consideramos irreal. Esto explica la condición impuesta.

¿Cómo hacerlo?

¿Cómo diversificar la sombra en cafetales con criterios locales de selección?

Cristina Yépez Pacheco¹

Palabras Claves: Árboles de sombra; dosel; criterios de selección.

INTRODUCCIÓN

En el 2002 se registraron los precios más bajos en la historia del mercado internacional del café. Esto ha traído como consecuencia la disminución de la rentabilidad del cultivo y del poder adquisitivo de las familias campesinas dedicadas a su producción. Desafortunadamente, los crecientes niveles de producción mundial advierten que los precios bajos seguirán por largo plazo; razón por la cual algunas organizaciones de productores, organizaciones gubernamentales, no gubernamentales e instituciones de investigación han promovido la diversificación de los cafetales para reducir la dependencia en el café como fuente principal de ingresos y para adaptarse a mercados especiales de café bajo sombra y café orgánico. Se pretende que los productores de estos tipos de café obtengan mejores precios que los del mercado convencional.

Es posible enriquecer el dosel de la sombra con especies de valor comercial (leña, madera, frutas, etc.) o ecológico. Es necesario identificar especies con características adecuadas para la producción de café y otros productos que favorezcan la conservación de la biodiversidad.

En la literatura técnica encontramos criterios para la selección de árboles de sombra y listas de especies con potencial para ese uso (Beer 1987; Escamilla 1993; Geilfus 1994; Bellow y Muschler 1999; Muschler 2000). También se reconoce la importancia de la selección de especies nativas de sombra, su propagación y manejo a través de los criterios locales de los productores que manejan los cafetales (Yépez 2001). Con este artículo se sugiere un método de selección de árboles para sombra con el fin de optimizar los beneficios de la diversificación.

EL MÉTODO SUGERIDO

1. Identificación y caracterización biofísica de la zona de producción de café

Como punto de partida, es importante conocer las características de la zona productiva donde se pretende diversificar la sombra de café. Esto se refiere tanto a las características ecológicas, como a las socioeconómicas que van a influir en la intensidad del manejo. Las condiciones orográficas, edáficas, climatológicas y de altitud sobre el nivel del mar determinan en buena medida el arreglo y la composición de la sombra (Muschler 2000). Por ejemplo, en condiciones de vientos fuertes hay que excluir árboles con raíces poco profundas y ramas quebradizas; mientras en lugares nubosos, utilizar especies con copas ralas, altas y pequeñas.



Vista exterior cafetal diversificado en Tapalapa, Chiapas, México. Foto: Cristina Yépez

¹ Consultora en Agroecología y Agroforestería Tropical. Proyecto Agroforestal CATIE-GIZ. CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: crisyepez@hotmail.com

Cuadro 1. Algunas características sugeridas en la literatura como deseables de árboles para sombra de café.*

1. Copa en forma de "paraguas" (extendida y estratificada).
2. Copa rala (sombra ligera)
3. Los árboles para sombra permanente deben tener vida larga.
4. En decíduas debe haber regeneración rápida de nuevas hojas.
5. Ramas libres de espinas.
6. Ramas no quebradizas.
7. Hojas pequeñas que filtren el sol y la lluvia
8. Hojas y ramas que se descompongan rápidamente
9. Tallos no quebradizos.
10. Sistema radicular fuerte y profundo
11. No susceptibles a plagas, ni enfermedades.
12. No hospederos alternativos de insectos u otros patógenos que afecten al cultivo.
13. Tolerancia al estrés ambiental.
14. Fácil establecimiento.
15. Rápido crecimiento
16. Tolerancia a la poda
17. Sin potencial de convertirse en maleza agresiva.
18. Alta producción y calidad de biomasa.
19. Capacidad para fijar Nitrógeno atmosférico.
20. Baja competencia por nutrientes y agua.
21. Ausencia de efectos alelopáticos (tóxicos para el café).
22. Oferta de productos con valor comercial (p. ej., leña, madera, fruta).

*Ninguna especie va a cumplir con todas y el peso de cada una depende de los objetivos (p. ej., árbol frutal, árbol maderable o árbol de servicio).

Cuadro 2. Atributos deseables de los árboles utilizados como sombra en cafetales según dos esquemas de certificación ecológica

Café "Bird Friendly" (Smithsonian Migratory Bird Center)	Café "ECO-O.K." (Rainforest Alliance)
<ul style="list-style-type: none"> • Incluir al menos 11 especies arbóreas diferentes. • La columna vertebral de la sombra* debe estar constituida por especies nativas. • La altura mínima de los árboles de la columna vertebral debe ser de 12 metros. • Usar preferentemente árboles perennifolios. • Algunas especies que componen la sombra deben proporcionar otras utilidades al productor. • Especies como <i>Gliricidia sepium</i>, <i>Grevillea robusta</i>, <i>Erythrina</i> spp., <i>Albizia</i> spp y <i>Pinus</i> spp., son inaceptables como columna vertebral, ya sea porque pierden sus hojas durante la estación seca o no son nativas y ofrecen pocos recursos a la fauna silvestre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incluir al menos 12 especies arbóreas diferentes. • Mantener o establecer sombra de una mezcla de especies nativas. • Usar preferentemente árboles perennifolios.

Fuente: Smithsonian Migratory Bird Center 1998 y Rainforest Alliance 2002.

* Columna vertebral en términos de sombra es el estrato que ocupan árboles dominantes o los más abundantes dentro del cafetal.

2. Identificación de las especies locales utilizadas para sombra en cafetales

Se requiere un listado completo de las especies que los productores reconocen como árboles "buenos" y "ma-

los" para sombra de café. También pueden incluirse en esta lista especies que no estén en los cafetales, pero que los productores identifiquen como potenciales para sombra.

Cuadro 3. Ejemplo de una matriz de selección de árboles para sombra.

Árboles Especies	Características deseables y sus pesos ponderados					Calificación final (máxima=11)
	Producir mucho follaje (3)	Copa en forma de paraguas (3)	Rápido crecimiento (1)	Tolerancia a la poda (2)	Ofrecer otros productos (2)	
Bojón (<i>Cordia alliodora</i>)	0	0	1	0	2	3
Cedro (<i>Cedrella odorata</i>)	0	3	1	0	2	6
Cocoite (<i>Gliricidia sepium</i>)	0	0	1	2	0	3
Chelel (<i>Inga latibracteata</i>)	3	3	1	2	2	11
Damenoche (<i>Cestrum</i> sp.)	3	0	1	0	0	4
Jondura (<i>Spondias purpurea</i>)	0	3	1	2	2	8
Madre (<i>Erythrina chiapasana</i>)	3	0	1	2	0	6
Nance (<i>Byrsonima crassifolia</i>)	0	0	1	2	2	5
Pimienta (<i>Pimenta dioica</i>)	3	0	0	2	2	7
Tapascuero (<i>Ulmus mexicana</i>)	0	0	1	2	2	5
Guachipilín (<i>Diphysa robinoides</i>)	3	3	0	2	2	10
Majagua azul (<i>Heliocarpus appendiculatus</i>)	3	3	1	2	0	9

Fuente: Talleres participativos para selección de árboles de sombra con productores de Ixhuatán y Tapalapa, Chiapas, México (Yépez 2001).

3. Elaboración del marco de criterios de selección

Los criterios considerados para la selección de especies se agrupan en tres categorías principales: a) las características deseables de los árboles para sombra recomendados en la literatura (Cuadro 1); b) los criterios locales de selección; y c) los criterios de certificación ecológica (Cuadro 2).

4. Ponderación de criterios

Es posible encontrar contradicciones entre lo recomendado por la literatura, las normas de producción ecológica y los criterios locales de los productores. En este caso se recomienda ponderar los criterios; es decir, las características se ordenan por su importancia de mayor a menor, o bien se elabora un índice que sitúa cada característica en una escala de valoración, como por ejemplo, valores de 1 a 3 (Linkimer *et al* 2002). Varias características pueden tener un mismo peso o importancia, lo que ocurre con frecuencia en condiciones reales. También pueden integrarse a este marco las características no deseables y asignarles igualmente escalas de valor negativas, como un criterio de apoyo en la selección final de las especies.

5. Evaluación de las especies y selección final

Una vez que se tiene la lista de árboles potenciales y el marco de criterios ponderados, se realiza la evaluación mediante una matriz o base de datos que contiene en el eje de las columnas los criterios de selección (cada uno con el peso correspondiente de acuerdo a su importancia) y en el eje de las filas la lista de especies arbóreas (Cuadro 3). La evaluación final de las especies se obtiene de la suma de la calificación de cada especie; se seleccionan las especies con mayor puntaje.

6. Diseño de la sombra

Se deben incluir en el dosel de sombra especies que tengan potencial para producir volúmenes considerables y de buena calidad de productos comerciales como leña, madera o frutales. Entre ellas podrían figurar algunas especies aptas para leña del género *Inga* o maderables como Laurel (*Cordia alliodora*) y Cedro (*Cedrela odorata*). Por otra parte, para aprovechar las normas de certificación ecológica, el diseño de los cafetales debe considerar las siguientes recomendaciones en cuanto a cobertura, composición y estructura de la sombra: a) mínimo 40%

de sombra; b) mantener densidades superiores a 70 árboles ha⁻¹; c) la especie dominante no debe representar más del 60% de los árboles de sombra; d) el restante 40% de los árboles de sombra debe estar compuesto como mínimo por 10 especies diferentes; y e) cada una de las 10 especies debe representar al menos 1% de los árboles de sombra presentes

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Beer, JW 1987 Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa and tea *Agroforestry systems* 5: 3-13
- Bellow, J; Muschler, R 1999. Screening for promising tree associates for coffee in Central America // Jiménez F; Beer, J Eds. Multi-strata agroforestry systems with perennial crops. Turrialba, Costa Rica, CATIE p 171-174
- Escamilla, E 1993. El café cereza en México: tecnología de la producción. Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo. 116 p
- Geilfus, F 1994. El árbol al servicio del agricultor. Manual de agroforestería para el desarrollo rural v.1 Principios y técnicas. Turrialba, Costa Rica, ENDA CARIBE - CATIE. 337 p
- Linkimer, M; Benjamin, T; Harvey, C; Muschler, R. 2002. Árboles nativos para diversificar cafetales en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* (esta edición).
- Muschler, RG 2000. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica CATIE/GTZ. 139 p (Módulos de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- Rainforest Alliance 2002. Normas genéricas para el cultivo de café (en línea). Consultado el 8 de septiembre, 2002. Disponible en <http://www.rainforest-alliance.org/programs/cap/socios/coffee-s.pdf>
- Smithsonian Migratory Bird Center 1998. Normas para la producción, el procesamiento y la comercialización de café "Bird-Friendly" (en línea). Consultado el 8 de septiembre, 2002. Disponible en : <http://natzoo.si.edu/smbc/Research/Coffee/cofcrisp.htm>
- Yépez PC 2001. Selección de árboles para sombra en cafetales diversificados de Chiapas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 88 p.

Reseñas Agroforestales

Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible

Gliessman, S. R. (2002). CATIE: Turrialba, Costa Rica.

Título original en inglés:

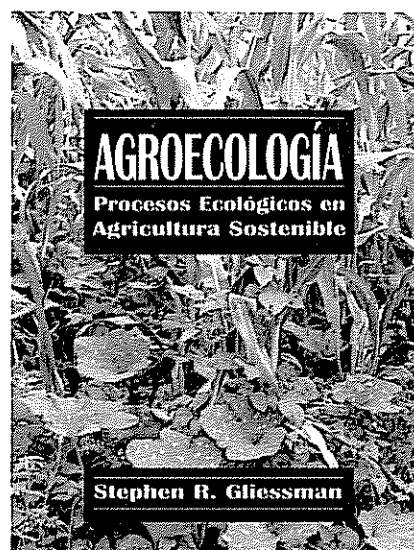
"Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture"

Este es el primer libro de texto sobre agroecología, diseñado para la enseñanza universitaria a nivel de pre-grado y post-grado. Será de gran utilidad para investigadores, profesores y estudiantes en las áreas de agricultura, manejo de los recursos naturales y desarrollo rural. Para ediciones posteriores, sería ideal encontrar un mayor desarrollo de los siguientes temas: 1) el papel de los animales en la agroecología; y 2) el rol de la agroecología en el desarrollo rural.

La sección uno comienza con una introducción a la agroecología que incluye temas como la "insostenibilidad" de la agricultura convencional, el concepto de agroecosistema y una discusión y definición de lo que es la agroecología. La agroecología se define como "*la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles*" (p 13). La siguiente sección se enfoca hacia un análisis de las plantas y los factores ambientales que afectan su desarrollo, siempre enfocado a condiciones agrícolas. Estos factores incluyen luz, temperatura, humedad y precipitación, viento, suelo, agua en el suelo y fuego. Al final de la sección se comienza una discusión sobre factores bióticos y el complejo ambiental que introduce principios básicos sobre las interacciones entre organismos, y con el medio ambiente. Estas primeras dos secciones serán de mayor utilidad para los estudiantes de pre-grado que comienzan su formación en las áreas de agronomía, ecología y manejo de los recursos naturales. Será especialmente útil para desarrollar una base inicial en ecología.

La tercera sección avanza en su nivel de complejidad al introducir temas más avanzados de ecología. Aquí se comienza a desarrollar a mayor profundidad la visión de sistemas de la agroecología, aplicando principios de ecología de poblaciones, comunidades y paisajes al diseño y manejo de agroecosistemas. Esta sección será de mayor utilidad para estudiantes de post-grado e investigadores, ya que discute aplicaciones y estudios sobre temas de gran interés en la actualidad. Estos incluyen, entre otros, la agroforestería tropical, la diversidad y estabilidad del agroecosistema, interacciones entre agroecosistemas y ecosistemas naturales.

La sección final incorpora una visión interdisciplinaria, que discute aspectos sociales y económicos que afectan los sistemas agro-alimentarios. Se desarrolla más a fondo el tema de los indicadores de sostenibilidad y la necesidad de impulsar,



no solo agroecosistemas sostenibles, sino sistemas agro-alimentarios sostenibles. Estos incluyen a los productores, consumidores, mercados, y organizaciones y redes de intercambio de productos, información y recursos.

Las ventajas estructurales del libro para su uso en la enseñanza universitaria y la capacitación profesional son muchas. Estas incluyen:

- Un lenguaje claro y múltiples ilustraciones y gráficos que facilitan la comprensión de los temas.
- Lista de referencias adicionales y preguntas de reflexión para cada capítulo.
- Una extensa bibliografía.
- Temas y estudios de caso que ilustran aplicaciones y ejemplos de la agroecología alrededor del mundo.

*Reseña realizada por:
Ernesto Méndez*

*Candidato Doctoral en Agroecología
Departamento de Estudios Ambientales,
Universidad de California, Santa Cruz, EEUU.
E-mail: vemendez@sv.intercomnet.net*