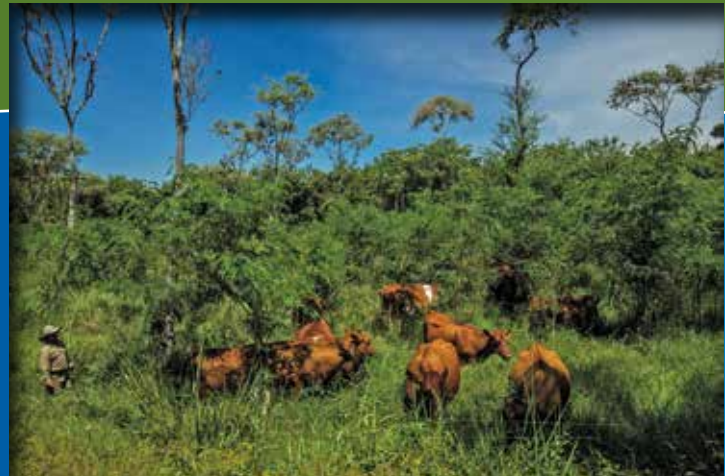


SISTEMAS AGROFORESTALES

FUNCIONES PRODUCTIVAS, SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES

Florencia Montagnini
Eduardo Somarriba
Enrique Murgueitio
Hugo Fassola
Beatriz Eibl



Serie técnica
Informe técnico No. 402

SISTEMAS AGROFORESTALES

FUNCIONES PRODUCTIVAS, SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES

Florencia Montagnini
Eduardo Somarriba
Enrique Murgueitio
Hugo Fassola
Beatriz Eibl

Colombia / Costa Rica - 2015

ISBN: 978-958-9386-74-3

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

Impreso en Colombia / Printed in Colombia

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

ISBN: 978-958-9386-74-3

338.14

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

ISBN 978-958-9386-74-3

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

Título

Sistemas agroforestales.
Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales

Editores

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

Diseño Gráfico

José Antonio Riascos de la Peña

Corrección de Estilo

Jaime Dávila, Javier Buitrago

Impresión

Feriva S. A. Cali - Colombia

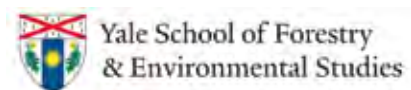
Para citar este libro

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

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



COLCIENCIAS
Ciencia, Tecnología e Innovación



Facultad de Ciencias Forestales
Eldorado - Misiones - Argentina



CONTENIDO

Página

PREFACIO	1
Florencia Montagnini, Eduardo Somarriba, Enrique Murgueitio, Hugo Fassola, Beatriz Eibl	
PRIMERA PARTE	4
FUNCIONES PRODUCTIVAS DE LOS SAF: PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE ÁRBOLES, CULTIVOS Y ANIMALES	
Capítulo 1	5
Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales	
Bruno Rapidel, Clémentine Allinne, Carlos Cerdán, Louise Meylan, Elias de Melo Virginio Filho, Jacques Avelino	
Capítulo 2	21
Producción agroforestal de madera en fincas agropecuarias de Centroamérica	
Guillermo Detlefsen, Eduardo Somarriba	
Capítulo 3	45
Sistemas Taungya en plantaciones de especies forestales de alto valor comercial en Venezuela	
Eduardo Escalante, Álvaro Guerra	
Capítulo 4	59
Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina	
Enrique Murgueitio, Martha Xóchitl Flores, Zoraida Calle, Julián D. Chará, Rolando Barahona, Carlos Hernando Molina, Fernando Uribe	
Capítulo 5	105
Los sistemas silvopastoriles en las provincias de Misiones y Corrientes, Argentina	
Luis Colcombet, Jorge I. Esquivel, Hugo E. Fassola, María Cristina Goldfarb, Santiago M. Lacorte, Nahuel Pachas, Belén Rossner, Rosa A. Winck	

	Página
SEGUNDA PARTE: SAF ORGÁNICOS, COMPROMISO ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	130
Capítulo 6 La productividad útil, la materia orgánica y el suelo en los primeros 10 años de edad en sistemas de producción de café a pleno sol y bajo varios tipos de sombra y niveles de insumos orgánicos y convencionales en Costa Rica Elías de Melo Virginio Filho, Fernando Casanoves, Jeremy Hagggar, Charles Staver, Gabriela Soto, Jacques Avelino, Ana Tapia, Marvin Merlo, Jhenny Salgado, Martin Noponen, Yuliney Perdomo, Ana Vásquez	131
Capítulo 7 <i>Ilex paraguarienses</i> A. St. Hil., yerba mate orgánica bajo dosel de especies nativas maderables, una propuesta de producción sustentable Beatriz Eibl, Florencia Montagnini, Miguel López, Roberto Montechiesi, Sara Barth, Eduardo Esterche	153
Capítulo 8 Manejo y comercialización actual de un cultivo ancestral: el caso de la guayusa, <i>Ilex guayusa</i> Loes., en la Amazonia ecuatoriana Eliot Logan-Hines, Juan Dueñas, Alexandra Humanante, Maureen Stimola	179
TERCERA PARTE: LOS SAF COMO ALTERNATIVA EN ZONAS RURALES EN AMBIENTES DEGRADADOS	202
Capítulo 9 Evaluación del potencial de los proyectos agroforestales para lograr beneficios ambientales y socio-económicos en zonas rurales de Haití Sarah Marlay	203
Capítulo 10 El conocimiento local en la selección de especies leñosas para la restauración del bosque tropical seco de Paso de Ovejas, Veracruz, México Alfonso Suárez Islas, Guadalupe Williams Linera, Heike Vibrans Lindemann, Juan Ignacio Valdez Hernández, Víctor Cetina Alcalá, Carlos Trejo López	231
Capítulo 11 Productividad global y diversidad de herbáceas en sistemas silvopastoriles de <i>Pinus elliottii</i> Engelm. con pastizal natural en la zona serrana sub-húmeda del centro de Argentina Graciela E. Verzino, Jacqueline Joseau, Roberto Hernández, José L. Indarte, Sandra Rodríguez Reartes, Luis E. Luque	245

	Página
CUARTA PARTE: FUNCIONES AMBIENTALES DE LOS SAF	268
Capítulo 12 Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático Florencia Montagnini	269
Capítulo 13 Un enfoque de paisaje a los esquemas REDD+: la experiencia de reducir emisiones en distintos usos de la tierra con productores de cacao en el Amazonas peruano Claudia Silva Aguad, Valentina Robiglio, Jason Donovan	299
Capítulo 14 Biomasa y cantidad de carbono almacenado en árboles de <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos, en un sistema agroforestal con <i>Ilex paraguariensis</i> A. St. Hil. Lucas N. López	315
Capítulo 15 Servicios ambientales de sistemas silvopastoriles intensivos: mejoramiento del suelo y restauración ecológica Julián Chará, Juan Carlos Camargo, Zoraida Calle, Liliana Bueno, Enrique Murgueitio, Ligia Arias, Miguel Dossman, Enrique José Molina	331
Capítulo 16 Café en Colombia: servicios ecosistémicos, conservación de la biodiversidad Gabriel Chait	349
Capítulo 17 Los SAF como estrategia para favorecer la conectividad funcional del paisaje fragmentado Wendy Francesconi, Florencia Montagnini	363
Capítulo 18 Biodiversidad, manejo de nutrientes y seguridad alimentaria en huertos caseros mesoamericanos Florencia Montagnini, Ruth Metzel	381
Capítulo 19 – Riqueza de especies en huertos caseros de tres municipios de la región Otomí Tepehua, Hidalgo, México. María Raimunda Araújo Santana, Darío Alejandro Navarrete Gutiérrez, José Justo Mateo Sánchez	405
Capítulo 20 Conclusiones Florencia Montagnini, Eduardo Somarriba, Enrique Murgueitio, Hugo Fassola, Beatriz Eibl	423
Anexo fotográfico sobre otros SAF de América Latina	439



VI

SAF con especies nativas maderables cerca de Pucallpa, Perú. Foto: F. Montagnini.



PREFACIO

Los países de América Latina y el Caribe participan activamente de los esfuerzos globales para reducir pobreza e inequidades execrables, conservar la biodiversidad, enfrentar las causas y consecuencias del cambio climático, así como para luchar contra el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), la degradación de las tierras y el avance de los desiertos. Los países de la región son signatarios de las diferentes convenciones de las Naciones Unidas en estos temas; los sistemas legislativos tratan de adaptar las normas legales; la educación superior promueve o consolida programas de maestría y doctorado; los mercados demandan productos amigables con la naturaleza, y la sociedad civil incrementa la conciencia ciudadana y estimula proyectos adecuados a estas nuevas realidades.

Todo lo anterior es un enorme estímulo para replantear la forma convencional de realizar las actividades agrícolas, forestales y ganaderas, caracterizadas por monocultivos y preocupantes síntomas de insostenibilidad económica, social y ambiental. Desde diferentes ópticas se concluye la urgencia de promover modelos holísticos de uso y manejo de los recursos naturales. Los sistemas agroforestales con sustento científico agroecológico son una poderosa herramienta que se suma al ya rico y diverso conocimiento tradicional indígena, campesino y afroamericano en sistemas que integran los árboles, los arbustos, las palmas y la flora silvestre con todo tipo de cultivos y animales domésticos que permiten la soberanía y seguridad alimentaria local, tanto como el abastecimiento de los mercados de los países y del mundo.

La demanda por conocimientos, científicos y tradicionales, por parte de diferentes actores claves para el desarrollo rural sostenible y el ordenamiento del territorio en América Latina y el Caribe crece vertiginosamente todos los días y es una necesidad contar con textos que sinteticen las valiosas experiencias de varios países en idioma español. Sin embargo, hasta el momento no se encuentra disponible ningún libro que compile información y avances recientes en el conocimiento sobre las funciones productivas, socio-económicas y ambientales de los SAF. En tiempos recientes, han sido publicados numerosos artículos en inglés y español, sobre las funciones de los SAF, y es oportuno compilar la información en un libro.

Por otro lado, la mayoría de los textos sobre sistemas agroforestales han sido publicados en inglés, con relativamente pocos volúmenes en español. No se trata solamente del idioma, ya que se podría argumentar que para solucionar esta falencia bastaría con traducir al español algunos de los volúmenes ya mencionados, sino también del énfasis en la región tropical de América Latina y el Caribe. Por lo tanto la obra está dirigida a investigadores, profesores, estudiantes universitarios y de posgrado, técnicos, profesionales de asistencia técnica y extensión rural, así como a personas involucradas en diseñar e implementar políticas públicas, planes regionales, programas y proyectos específicos relacionados con sistemas agroforestales (SAF) en el neotrópico y en aplicar innovaciones en la práctica agroforestal en predios productivos.

Este libro fue inicialmente concebido para lograr una actualización del texto de SAF producido en forma conjunta entre CATIE y OTS, en 1986, el cual a su vez fue re-editado y mejorado en 1992: Montagnini, F. (et al.). 1992. Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos. 2da. ed. rev. y aum. Organización para Estudios Tropicales (OTS). San José, Costa Rica. 622 pp, disponible en el sitio web de la OTS (<http://www.ots.ac.cr/images/downloads/information-resources/library/sistemasagroforestales.pdf>).

Pero en esta nueva iniciativa editorial no se pretende repetir contenidos del libro de 1992. En cambio, se espera que éste contenga avances en los conocimientos y aplicaciones sobre SAF en el neotrópico desde 1992 al presente, es decir, durante los más recientes 20 años.

El libro está dividido en cuatro partes:

- Primera parte: Funciones productivas de los SAF: productividad y sostenibilidad de árboles, cultivos y animales domésticos (ganadería).
- Segunda parte: SAF orgánicos, compromiso entre la productividad y los servicios ecosistémicos
- Tercera parte: Los SAF como alternativa en zonas rurales en ambientes degradados
- Cuarta parte: Funciones ambientales y servicios ecosistémicos de los SAF, y Conclusiones

Su edición fue co-liderada por cinco colegas: Florencia Montagnini, Eduardo Somarriba, Enrique Murgueitio, Hugo Fassola y Beatriz Eibl, los cuales respectivamente representan instituciones que se han dedicado a la investigación / enseñanza de SAF (Yale desde EE. UU., CATIE en Costa Rica, CIPAV en Colombia, INTA en Misiones, Argentina, y la Facultad de Ciencias

Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), también en Misiones, Argentina). Sus contenidos reflejan las afiliaciones y enfoques que mantienen los editores, con un énfasis en contribuciones de colegas de los países de América Latina ya mencionados.

Los editores agradecen a los numerosos coautores de los capítulos y en forma especial la colaboración de colegas que amablemente han actuado como Revisores Externos para los capítulos del libro, ellos son (en orden alfabético de apellidos): Gillian Bloomfield, Mathew Brewer, Alicia Calle, Gabriel Chait, Julián Chará, Cecilia Del Cid, Eduardo Escalante, Wendy Francesconi, Miguel López, Sarah Marlay, Ruth Metzel, Daniel Piotto, Bruno Rapidel, Carmen Rojas, Fernando Rubio, Juan Simonelli, Elías de Melo Virginio Filho.

Se agradece a los miembros del Comité Editorial del CATIE (CEC) la colaboración y apoyo brindados. Asimismo, la asistencia prestada por Vicza Salazar Mora, de la Oficina de Comunicación e Incidencia del CATIE por su ayuda. La Dirección General del CATIE y profesionales de la institución han brindado apoyo substancial con ideas, documentos y otros tipos de asistencia. Se agradece a Ruth Metzel (Yale) el apoyo en edición y numerosos detalles del trabajo involucrado en la preparación de este texto. La Universidad de Yale brindó apoyo logístico y financiero a este trabajo. El financiamiento de la impresión proviene en su mayor parte de CIPAV con recursos de COLCIENCIAS (Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas; contrato 0823-2013), complementado por la Fundación Montagnini (en formación), y por la contribución del consorcio Forest, Trees and Agroforestry (FTA/CATIE).

Los editores

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

PRIMERA PARTE:

**FUNCIONES PRODUCTIVAS DE LOS SAF:
PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE ÁRBOLES,
CULTIVOS Y ANIMALES**



Capítulo 1

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

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

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

¹CIRAD, UMR SYSTEM, Montpellier, France,

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

²CATIE, Turrialba, Costa Rica

³Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México

⁴CIRAD, UR Bioagresseurs, Montpellier, France

⁵IICA-Promecafé, Coronado, Costa Rica

RESUMEN

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

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

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



6

Granos de café. Foto: F. Montagnini.



INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

1.1 Sombra y fotosíntesis

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

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

1.2 Sombra y balance hídrico del cafeto

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

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

1.3 Sombra y nutrición mineral del cafeto

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

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

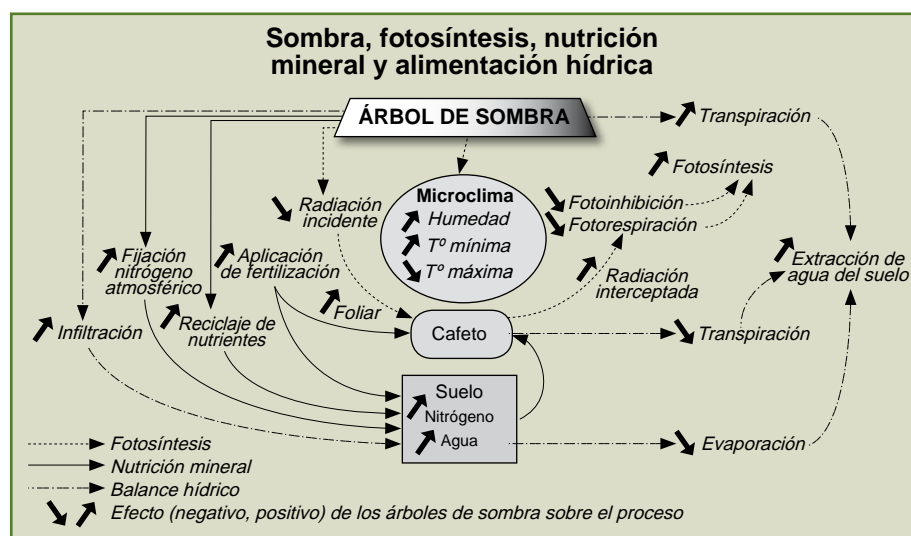


Figura 1. Efectos de los árboles de sombra sobre la fotosíntesis, el balance hídrico y la nutrición mineral del café.

1.4 Sombra y rendimiento

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

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

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

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

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

1.5 Sombra y calidad del café

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

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

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

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

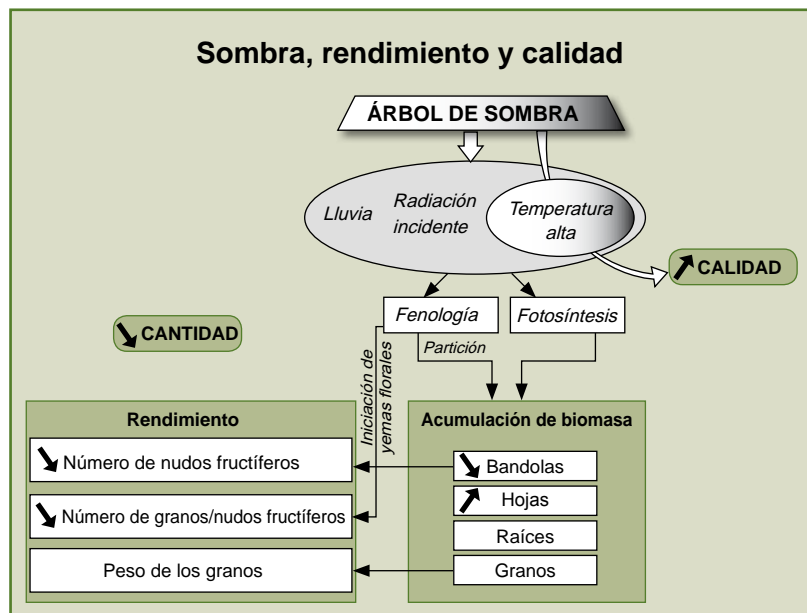


Figura 2. Efectos de los árboles de sombra sobre productividad y calidad de café.

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

1.6 Sombra, plagas y enfermedades

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

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

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

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

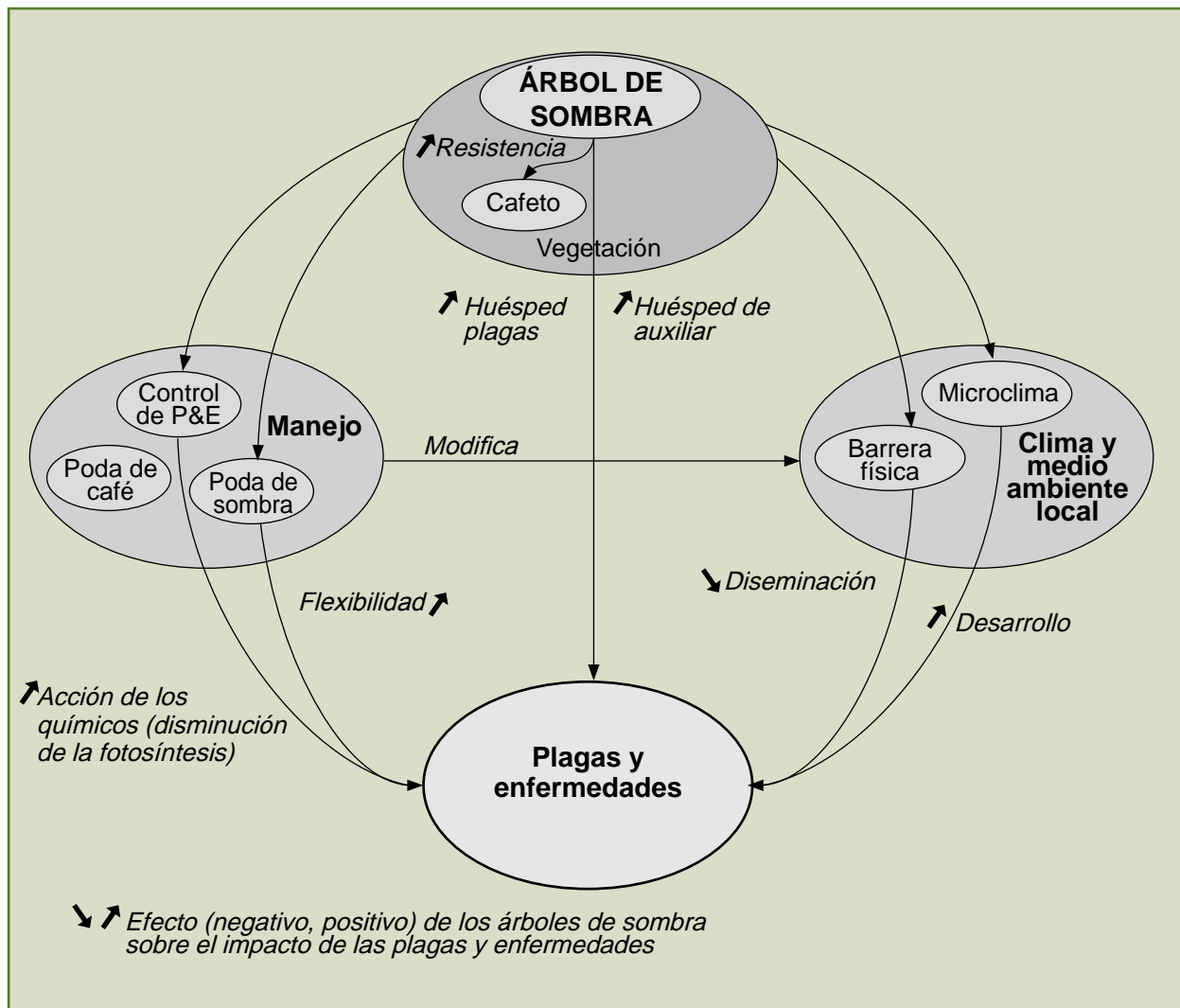


Figura 3. Efectos de los árboles de sombra sobre las plagas y enfermedades del café.

2. LA PRÁCTICA PRODUCTIVA

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

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

2.1 Árboles de servicio

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

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

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

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

2.3 Árboles de madera o frutas

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

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

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

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

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

CONCLUSIONES

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

Agradecimientos

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

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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



Capítulo 2

PRODUCCIÓN AGROFORESTAL DE MADERA EN FINCAS AGROPECUARIAS DE CENTROAMÉRICA

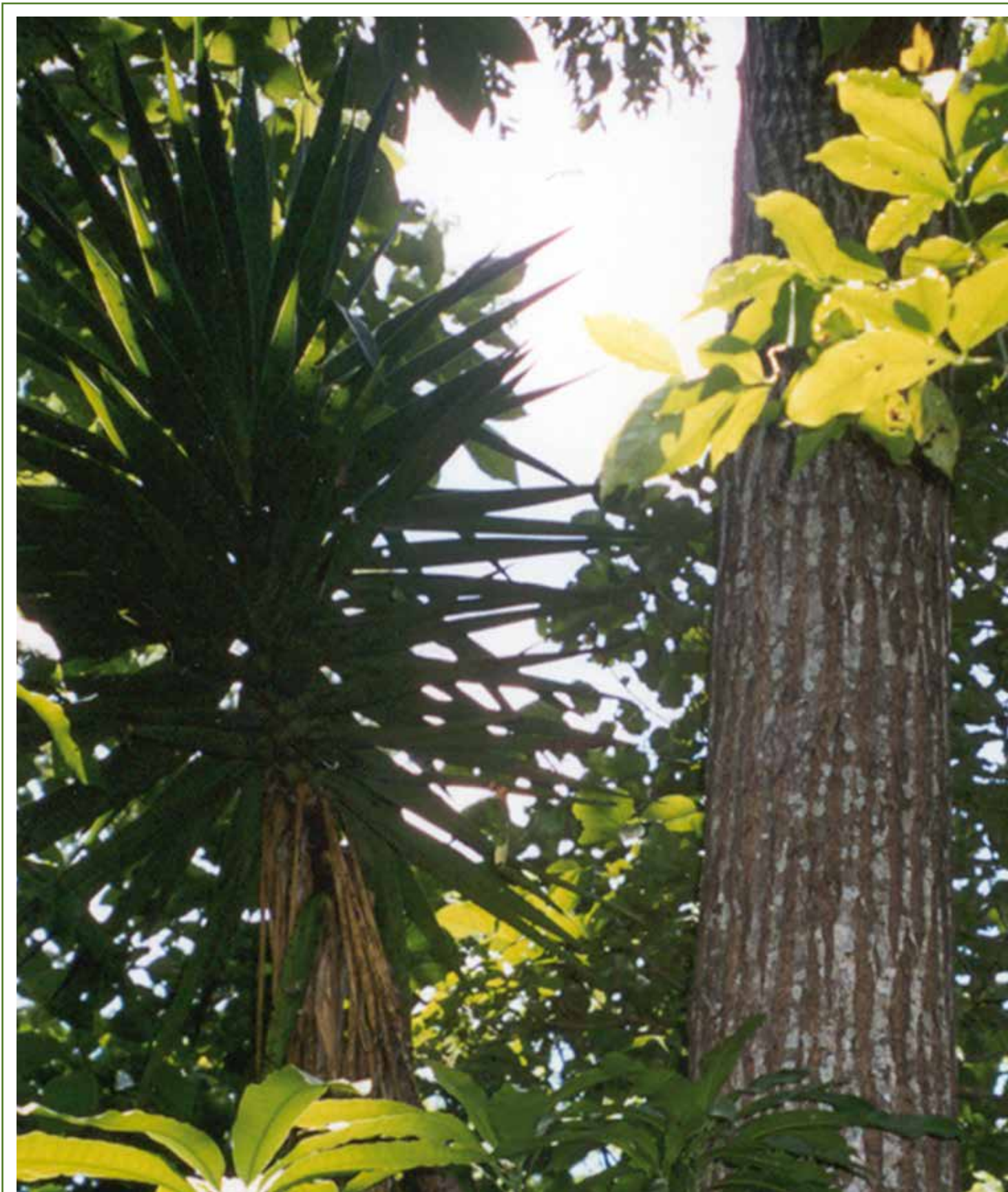
Guillermo Detlefsen y Eduardo Somarriba¹

¹ CATIE, Turrialba, Costa Rica, Correo electrónico: esomarri@catie.ac.cr

RESUMEN

En este capítulo analizamos la producción de madera en sistemas agroforestales (SAF) con café, cacao y ganadería en América Central. Se compiló y sintetizó la información disponible para Centroamérica sobre árboles en potreros, plantaciones de café y de cacao, incluyendo las listas de las especies maderables más abundantes y representativas, de sus densidades y cantidades de madera en pie, crecimiento o aprovechamiento. El crecimiento y rendimiento de las especies maderables establecidas en líneas, en forma de árboles dispersos y en bloque en asociación con cultivos y/o pastos en las fincas de Centroamérica son muy buenos. La producción de madera puede ser una actividad económicamente atractiva, complementaria a otras medidas de optimización y diversificación de la producción de las fincas. Algunos ejemplos son sistemas de árboles dispersos en potreros de Esparza (Costa Rica), El Cayo (Belice) y Copán (Honduras) con volúmenes de madera de *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata* y otras especies de 13 a 19 m³ ha⁻¹; árboles en linderos de *Eucalyptus camaldulensis* con pasturas con hasta 100 m³ km⁻¹ en Copán (Honduras) y de 62 a 79 m³ km⁻¹ en linderos de *Tectona grandis* y *Terminalia ivorensis* a los 60 meses de edad en Changuinola (Panamá); sistemas de cacaotales con sombra plantada en Talamanca (Costa Rica) y Bocas del Toro (Panamá) con los árboles maderables de *Cordia alliodora*, *Terminalia ivorensis* y *Tabebuia rosea* alcanzando 97-173 m³ ha⁻¹ de volumen a los 10 años de edad; cafetales de Turrialba (Costa Rica) donde la producción de *Cordia alliodora* varía entre 4 y 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹; zonas cafetaleras de Honduras donde se pueden obtener 28-32 m³ ha⁻¹ de madera aserrada para cedro a los 21 años de edad con una densidad máxima de 65 árboles ha⁻¹, entre otros.

Se analizó el marco legislativo y político que rige la producción, transporte y uso de la madera proveniente de fincas agropecuarias en los países de la región centroamericana. Se muestra que la simplificación de los procesos de autorización de permisos para el aprovechamiento maderable en la región, como se hace actualmente en Guatemala y Belice, podría fomentar el manejo sostenible de los árboles maderables en fincas agropecuarias y la comercialización legal de la madera en cualquier punto del mercado. El cultivo, manejo y aprovechamiento legal de la madera producida en fincas agropecuarias diversifica la producción, aumenta el ingreso de la familia rural y el valor de las propiedades, almacena carbono y provee otros servicios ecosistémicos.





INTRODUCCIÓN

La madera proveniente de los bosques naturales es cada vez más escasa. Los bosques (primarios, intervenidos y plantados) cubren el 31% de la superficie total de la tierra, aproximadamente 4 mil millones de hectáreas (ha; FAO 2010). De los 4 mil millones, cerca de 1.200 millones de ha (30% del área mundial de bosque) se explotan comercialmente para la producción de productos forestales maderables y no maderables. Por otra parte, el 25% del área total de bosques corresponde a áreas protegidas dedicadas a la conservación de la biodiversidad u otros fines. La superficie de bosques naturales representa el 93% de la cobertura forestal actual mundial y los bosques plantados representan el 7% del área total (FAO 2010). La deforestación y degradación de los bosques naturales es un problema global de primera importancia. En los últimos 20 años, más de 50 millones de ha de bosques tropicales naturales han sido convertidas en fincas agrícolas o ranchos ganaderos. Se estima que en el periodo 2000-2010, cerca de 13 millones de ha de bosques fueron convertidas anualmente a otros usos del suelo (FAO 2010).

La transformación del bosque en campos agrícolas y potreros no implica la erradicación completa del bosque ni del árbol. Numerosos estudios agroforestales documentan la riqueza de especies, la composición botánica diversa y los valores típicos de densidad de árboles que son compatibles con la producción animal o agrícola. La cobertura espacial de los sistemas agroforestales (SAF) a nivel mundial, regional y nacional es significativa. Por ejemplo, Nair et al. (2009) estimaron un total de 823 millones de ha bajo SAF en todo el mundo: 516 millones con sistemas silvopastoriles (SSP) y 307 millones con otras prácticas agroforestales. Dixon (1995) estimó que para África, Asia y América, la disponibilidad de tierras apropiadas para SSP y SAF (no necesariamente ocupadas) es de 585 a 1.215 millones de ha. Zomer et al. (2009) estimaron que de las 2.220 millones de ha bajo uso agropecuario en el mundo, si se toma un límite mínimo de cobertura arbórea del 10% del terreno, un poco más de 1.000 millones de ha están ocupados por SAF. Las regiones con mayor área cubierta por SAF, de acuerdo con Zomer et al. (2009), son: Suramérica (320 millones de ha), África Sub-Sahara (190 millones de ha) y Sureste de Asia (130 millones de ha). En Latinoamérica, los SAF cubren entre 200-357 millones de ha, incluyendo 14-26 millones en Centroamérica y 88-315 millones en Suramérica (Somarriba et al. 2012).

Centroamérica, con una extensión territorial de 52,4 millones de ha distribuidas entre siete países (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá) y una población de alrededor de 42,7 millones de habitantes estimados para el año 2010 (Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, PEN 2013), posee aproximadamente 20,6 millones de ha de bosques (39,4% de su extensión territorial). La mayor parte de esos bosques (13,0 millones de ha) están bajo alguna categoría de áreas protegidas (nacionales o privadas). La deforestación y degradación de los bosques naturales en Centroamérica provocó que el porcentaje de cobertura boscosa disminuyera de 42,9% en el año 2000 a 39,4% en el año 2010, siendo Belice el país con mayor cobertura forestal de la región (61% en 2010) y El Salvador el que tiene menor cobertura (14% en 2010; Figura 1). Cabe resaltar que Costa Rica fue el único país de Centroamérica que durante la última década aumentó la cobertura forestal, de 46,5% en el año 2000 a 51% en el 2010.

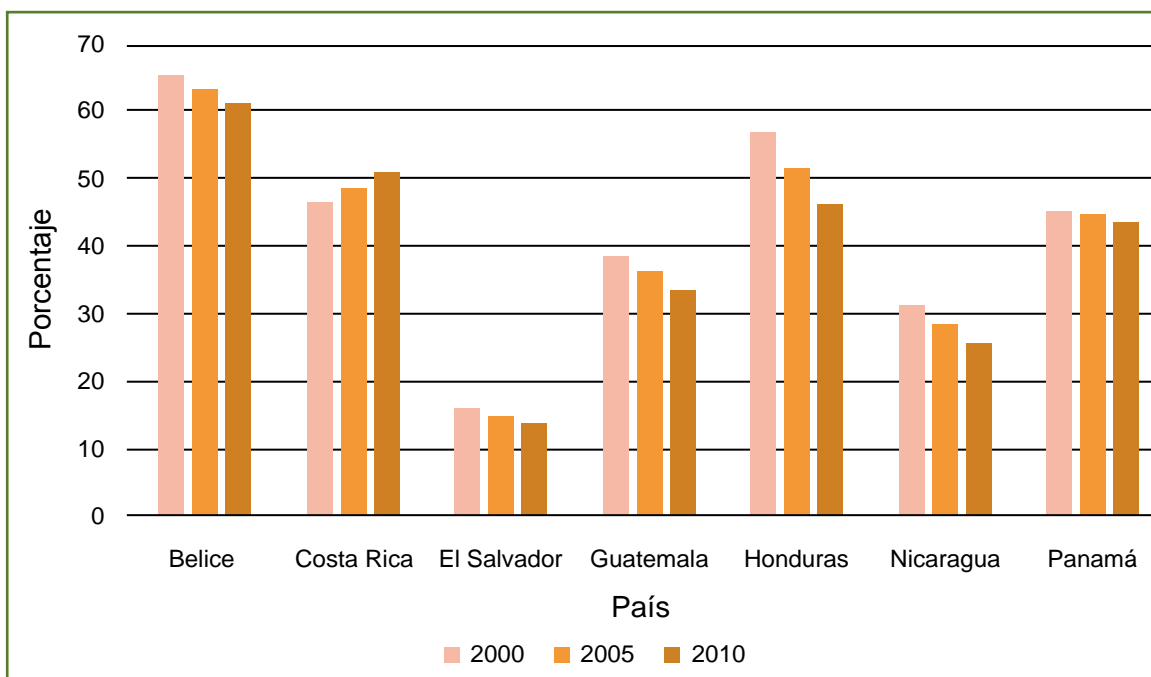


Figura 1. Cobertura forestal de los países de Centroamérica para el período 2000-2010.
Fuente: Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (PEN) 2013.

La leña es el producto maderable más consumido en la región centroamericana (41,4 millones de m³ consumidos en 2008), seguida de la madera industrial (3,3 millones de m³) y la madera aserrada (2,1 millones de m³; López y Detlefsen, 2012). A nivel mundial, más de 2 mil millones de personas dependen de energía maderable para cocinar y calefacción (FAO 2012). En términos de producción total de los productos maderables de Centroamérica, Guatemala concentra el 42% de la producción forestal y durante el periodo 2000-2010 triplicó el volumen producido, pasando de 11,5 a 36,2 millones de m³ año⁻¹ (Figura 2).

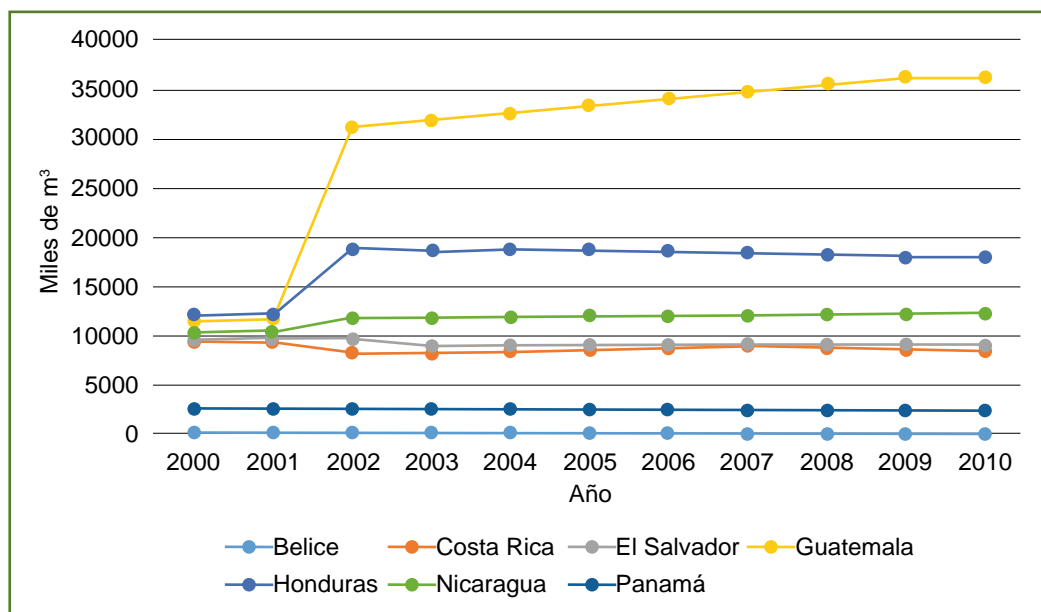


Figura 2. Volumen total de producción forestal de siete países de Centroamérica (miles de m³) de 2000 a 2010. Fuente: PEN 2013, FAOSTAT 2013.

En Centroamérica, los SAF cubren 27-50% del área total del istmo (Somarriba et al. 2012). Beer et al. (2000) sugirieron que el área bajo SSP en cinco países de la región (Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala) era de 9,2 millones de ha, mientras que bajo SAF con café se estimó que era de 0,7 millones de ha para el momento en que se realizó el citado estudio. Según Varangis et al. (2003), el cultivo de café en la región para la fecha estudiada por estos autores cubría alrededor de 904.000 ha con una producción de 937.785 toneladas (t) año⁻¹, participando alrededor de 280.000 productores, la mayoría de ellos pequeños productores. En cacao, se registran unas 20.000 ha cultivadas en la región y una producción anual de 6.000 t de cacao en grano, con una participación de 16.500 familias (98.400 personas). Éstas se encuentran emplazadas en sitios remotos de importancia para la conservación y en manos de pequeños productores (Orozco y Deheuvels 2007). Por otra parte, el área de pasturas permanentes estimada por Ibrahim et al. (2007) para los siete países centroamericanos es de 13,1 millones de ha (aproximadamente el 38% del área de la región).

Las cifras anteriores nos revelan la importancia de los SAF en el mundo y en el istmo centroamericano en particular, así como la oportunidad que representan para la provisión de madera legal en las fincas, si fuesen óptimamente manejados con tal fin. En este artículo analizamos la producción de madera en sistemas agroforestales con café, cacao y ganadería en América Central. Primeramente listamos las especies arbóreas maderables más comunes en varias zonas estudiadas, los valores típicos de densidad de los rodales arbóreos en las fincas, las estimaciones del crecimiento y rendimiento, y el manejo agroforestal de los árboles en campos agrícolas y potreros y en segundo lugar analizamos el marco legal e institucional que rige la producción, transporte y uso de la madera proveniente de las fincas en Centroamérica.

1. SISTEMAS SILVOPASTORILES

1.1 Principales especies maderables

Esta sección se basa en la revisión sobre el tema realizada por Ibrahim y Zapata (2012). Los SSP de Centroamérica y del Caribe retienen 14-184 árboles ha⁻¹ de una lista de especies que varía entre 34 y 180 especies ha⁻¹ (Ibrahim y Zapata 2012). La mayoría de las especies arbóreas provienen de la regeneración natural pero también puede incluir especies de árboles plantados. Los árboles en potreros se encuentran dispersos en el potrero (35% de los árboles) o en parches o grupos (Esquivel et al. 2003, Villanueva et al. 2007). En Costa Rica (Esparza y Cañas), entre 63-68% de las especies de árboles encontradas en los potreros tiene potencial maderable (Villanueva et al. 2007, Scheelje 2009, Esquivel 2005). En cambio, en Nicaragua (Muy Muy), sólo el 35% de las especies arbóreas en los potreros tiene potencial maderable (Figura 3).

Cinco son las especies maderables más abundantes en los potreros de Centroamérica: *Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Samanea saman*, *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* (Rosa Cruz 2010, Scheelje 2009, Villanueva et al. 2007, Sánchez et al. 2005, Esquivel et al. 2003). Se cuenta con información silvopastoril sobre estas cinco especies (Ibrahim y Zapata 2012), pero cada zona tiene su propia flora. Por ejemplo, en la sub-cuenca del río Copán, Honduras, las dos especies maderables más abundantes fueron *Pinus oocarpa* y *Cordia alliodora* (Chavarría 2010). En el Distrito del Cayo, Belice, las especies maderables más abundantes fueron *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Astronium graveolens* y *Pouteria reticulata* (Rosa Cruz 2010). En Esparza, Costa Rica, las más abundantes fueron *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Bombacopsis quinata* (Scheelje 2009). La especie con mayor abundancia y potencial maderable en los potreros de Esparza, Costa Rica es *Tabebuia rosea* (Scheelje 2009, Villanueva et al. 2007).

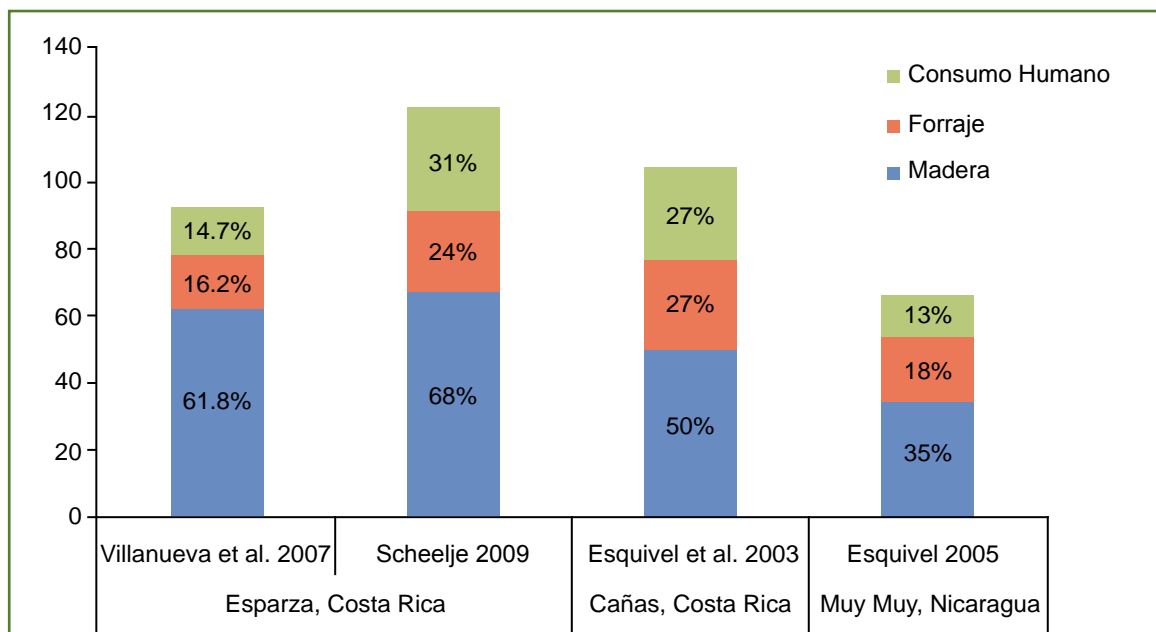


Figura 3. Principales usos de las especies arbóreas en sistemas silvopastoriles de tres zonas de Centroamérica. Fuente: Ibrahim y Zapata (2012).

1.2 Madera en pie, densidades, crecimiento y rendimiento maderable

El volumen de madera en pie contenido en el sistema silvopastoril está relacionado con la densidad arbórea (área basal). En Muy Muy, Nicaragua, la mayor área basal la registraron las especies *Albizia saman* (15,09 m² ha⁻¹) y *Enterolobium cyclocarpum* (13,8 m² ha⁻¹) frente a *Tabebuia rosea* (6,35 m² ha⁻¹), *Cordia alliodora* (3,1 m² ha⁻¹) y *Cedrela odorata* (5,3 m² ha⁻¹). Éstas son las especies que aportan la mayor parte del volumen de madera en el rodal arbóreo (Esquivel 2005). En sistemas de árboles dispersos en potreros se han registrado volúmenes de madera de hasta 19,2 m³ ha⁻¹ (Cuadro 1). Las existencias de madera en pie en los potreros también varían ampliamente entre zonas y especialmente, entre modelos de producción ganadera con diferente nivel de manejo tecnológico.

Cuadro 1. Volumen de madera (m³ ha⁻¹) de árboles en fincas ganaderas de Centroamérica. Fuente: Ibrahim y Zapata (2012).

Región	Sistema	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	Fuente
Subcuenca del río Copán, Honduras	Árboles dispersos de especies latifoliadas (74 árboles ha ⁻¹)	13	Chavarría (2010)
	Cercas vivas de eucalipto (196 árboles km ⁻¹)	100	
Esparza, Costa Rica	Árboles dispersos (25 árboles ha ⁻¹)	19	Scheelje (2009)
Distrito del Cayo, Belice	Árboles dispersos en potreros	13	Rosa Cruz (2010)
La Fortuna, Costa Rica	Lechería especializada (laurel, 10,34 árboles ha ⁻¹)	3,88	Souza de Abreu (2002)*
	Doble propósito (laurel, 16,08 árboles ha ⁻¹)	4,49	
	Lechería especializada (cedro, 1,44 árboles ha ⁻¹)	0,18	
	Doble propósito (cedro, 0,62 árboles ha ⁻¹)	1,19	

*Dap comercial (> 35 cm) y no comercial (< 35 cm).

El espaciamiento inicial de los árboles depende fundamentalmente de los objetivos de la plantación, el hábito de crecimiento de la especie, la calidad del sitio y el manejo. En linderos, los espaciamientos iniciales para maderables deben ser de 3-5 m mientras que como sombra para perennes deben ser mayores a 8 m (Cordero y Boshier 2003). En sitios pobres es conveniente dar a los árboles espaciamientos mayores, mientras que en sitios con buenas condiciones edáficas se pueden plantar a menor espaciamiento, lo cual favorecerá la forma del fuste y la producción total de volumen (Faurby y Barahona 1998).

Un estudio sobre linderos de *Cedrela odorata* en el trópico húmedo en Santa Bárbara, Honduras, reporta un incremento medio anual de 1,09 m de altura y 3,77 cm de diámetro (Viera y Pineda 2004). En el trópico seco de Costa Rica, Andrade Castañeda (2007) reporta en 51 meses de medición para tres especies nativas establecidas en hileras dobles a una distancia de 8 m entre hileras y de 2 m entre árboles, que *Diphysa robinoides* presenta mayor crecimiento en diámetro (5,7 cm) y altura (3,4 m) que *Dalbergia retusa* y *Pithecellobium saman* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diámetro y altura total de tres especies arbóreas nativas a los 51 meses de edad, en sistemas silvopastoriles con dos especies de pasturas contrastantes en el trópico seco de Costa Rica. Valores entre paréntesis representan error estándar. Fuente: Andrade Castañeda (2007).

Especie arbórea/ Pastura		<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Promedio
dap (cm)	<i>Pithecellobium saman</i>	2,7 (0,4)	3,7 (0,4)	3,3 (0,3)
	<i>Dalbergia retusa</i>	4,6 (0,3)	3,7 (0,3)	4,1 (0,2)
	<i>Diphysa robinoides</i>	5,8 (0,3)	5,6 (0,3)	5,7 (0,2)
altura total (m)	<i>Pithecellobium saman</i>	2,2 (0,2)	2,7 (0,2)	2,5 (0,1)
	<i>Dalbergia retusa</i>	3,4 (0,2)	2,5 (0,2)	3,0 (0,1)
	<i>Diphysa robinoides</i>	3,4 (0,2)	3,5 (0,2)	3,4 (0,1)

1.3 Regeneración y manejo de las especies maderables

Ciertas especies arbóreas y arbustivas están perfectamente adaptadas al ambiente y manejo de los potreros y de los animales y mantienen altas poblaciones gracias a su capacidad invasora. Los productores aprovechan la regeneración natural y capacidad de rebrote de estas especies para obtener madera, postes, leña, forraje y abrigo para el ganado; pero tienen que controlar constantemente las poblaciones de estas especies para no afectar la productividad de las pasturas. Ejemplos notorios de este complejo de especies invasoras útiles son *Psidium guajava* y *Acacia pennatula* (Somarriva 1988, 2012). Las cinco especies más comunes de los potreros de Centroamérica listadas anteriormente tienen obviamente una buena capacidad reproductiva e invasora y mantienen una población alta por hectárea a pesar de las prácticas de control de malezas que diezman sus poblaciones.

Otras especies arbóreas ocurren a muy bajas densidades en los potreros y no tienen suficientes individuos en las etapas juveniles de brinjal² y latizal³ que aseguren la existencia futura de las poblaciones de estas especies en los potreros. Varios factores reducen la densidad de población de todos los árboles en los potreros: sitios no aptos, control no-selectivo de malezas (chapias, herbicidas, quemas), defoliación y pisoteo por los animales, número reducido de fuentes semilleras debido a la corta excesiva de árboles valiosos de tamaño comercial (Camargo García 1999, Chavarría 2010, Rosa Cruz 2010, Scheelje 2009, Villanueva et al. 2007, Esquivel 2005). Las plagas también pueden ser un factor importante, por ejemplo, la baja densidad de juveniles de *Cedrela odorata* en Muy Muy, Nicaragua podría estar relacionada con la presencia del barreandor del brote, *Hypsipyla grandella* (Esquivel 2005). Los factores de mortalidad de las especies maderables en el potrero son especialmente severos cuando los árboles son jóvenes y pequeños; la protección de los árboles en esta etapa de su ciclo de vida es crítica (Camargo García 1999).

²Brinjal = plantas de 0,3-1,5 m de altura.

³Latizal = plantas $\geq 1,5$ m de altura y dap < 5 cm.

2. CACAOTALES

Los pequeños productores de cacao (*Theobroma cacao*) de todo el mundo plantan, seleccionan de la regeneración natural, o retienen del bosque original varias especies de plantas útiles para dar sombra al cacao en variados diseños agroforestales que responden a sus intereses, condiciones agroecológicas y socioeconómicas particulares (Rice y Greenberg 2000, Somarriba y Harvey 2003, Bentley et al. 2004, Somarriba et al. 2004). La mayoría de las plantas utilizadas como sombra para el cacao son árboles, pero también se incluyen diferentes especies de bambú, palmas, arbustos y hierbas gigantes (por ejemplo, bananos y plátanos) que valorizan la propiedad y proveen madera, leña, aceites, frutas, medicina, fibras, rito, ornato, y otros bienes y servicios de utilidad directa para la venta, el consumo de la familia o de uso en la finca (Asare 2004). El cacao ha participado en el mercado mundial de materias primas por más de 100 años, período durante el cual ha sufrido grandes oscilaciones cíclicas de precios, de frecuencia y duración variables, que han causado grandes pérdidas económicas a familias y gobiernos (Ruf y Schroth 2004). La diversificación productiva para tener ingresos alternativos cuando caen los precios del cacao ha sido una de las recomendaciones más comunes en las épocas de crisis. Similares sugerencias se han presentado durante las crisis del café (Godoy y Bennett 1989).

2.1 Principales especies maderables

El cacao se cultiva en alrededor de 7 millones de hectáreas en todo el mundo, en pequeñas propiedades de < 3 ha y en asocio con otros cultivos, bananos, palmas y árboles de varios usos. Un 70% de la producción de cacao se produce bajo sombra. En América Latina existen 1,5 millones de hectáreas cultivadas con cacao y más del 80% es bajo sombra arbórea (Somarriba et al. 2012). En Centroamérica existen unas 20 mil hectáreas cultivadas con cacao y el 100% es bajo sombra (Orozco et al. 2013b). Nicaragua es el país de Centroamérica con mayor superficie plantada en cacao, unas 13 mil hectáreas (Orozco Aguilar y López Sampson 2013).

Los cacaotales de Centroamérica tienen una densidad promedio de 128 árboles ha⁻¹, provenientes de una lista de entre 125-145 especies arbóreas presentes en el dosel de sombra. Los árboles se encuentran con copas distribuidas en tres estratos verticales (bajo, < 10 m, medio, 10-20 m, y alto, > 20 m) con una proporción de 50:30:20 (%) de la densidad promedio. Los cacaotales con menor densidad y número de especies de árboles de sombra son los de Belice, Honduras y Panamá. La mayoría de las especies son plantadas, manejadas y aprovechadas como madera, fruta, leña y sombra. Varias especies arbóreas se utilizan para un mismo fin. Por ejemplo, laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*) se utilizan como fuente de madera para consumo en la finca, en el hogar y para la venta.

Varios genotipos de bananos, guineos y plátanos (*Musa* spp.), la naranja (*Citrus sinensis*), coco (*Cocos nucifera*), mamón chino (*Nephelium lappaceum*), mango (*Mangifera indica*), zapote (*Pouteria sapota*) y el aguacate (*Persea americana*) son los frutales más comúnmente plantados en los cacaotales centroamericanos. Otras especies de sombra abundantes en los cacaotales son madre cacao (*Gliricidia sepium*), guabas (*Inga* spp.), pataxte (*Theobroma bicolor*), leucaena (*Leucana leucocephala*) y la palma de pejibaye (*Bactris gasipaes*) (Orozco et al. 2013b, Somarriba 2007, Somarriba et al. 2008). La diversificación de las plantaciones de cacao (por ejemplo, plantando, conservando y manejando maderables) aumenta la estabilidad del ingreso de la finca y baja el riesgo financiero (Ramírez et al. 2001).

Existen dos modelos básicos para la producción maderable en SAF con cacao:

1. Árboles plantados en el cacaotal (normalmente al inicio de la plantación, finalizando con el aprovechamiento de toda la madera al momento de la renovación del cacaotal); éstos son normalmente rodales coetáneos.
2. Árboles de regeneración natural que se reclutan y aprovechan periódicamente; estos rodales poseen generalmente una estructura de edad o tamaño heterogénea (disetáneos).

2.2 Maderables plantados

Plantaciones experimentales de cacao con sombra de tres especies maderables en las zonas caoeteras de Talamanca, Costa Rica, y Bocas del Toro, Panamá (Somarriba y Beer 2011) mostraron que en estos sistemas agroforestales los árboles maderables crecieron rápidamente, alcanzando 30-34 cm de dap, 17-25 m de altura y 97-173 m³ ha⁻¹ de volumen a los 10 años de edad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diámetro a la altura del pecho (dap, cm), altura total (h, m) y volumen total (V, m³ ha⁻¹) para *Cordia alliodora* (CORALL), *Tabebuia rosea* (TABROS) y *Terminalia ivorensis* (TERIVO) en Ojo de Agua, Changuinola, Panamá. Fuente: Somarriba y Beer (2011).

Año	CORALL			TABROS			TERIVO		
	dap (cm)	h (m)	V (m ³)	dap (cm)	h (m)	V (m ³)	dap (cm)	h (m)	V (m ³)
1990	3	2	0	4	4	0	5	2	1
1991	11	6	6	10	6	5	11	7	7
1992	16	10	25	14	8	13	17	10	26
1993	20	14	49	17	10	24	21	14	54
1994	22	17	80	21	12	42	24.5	18	88
1995	23,5/25*	19	81/77*	22/23*	12	43/36*	24,7/27*	20	101/89*
1996	27	21	96	25	14	54	30	20	107
1997	29	22	110	27	15	64	31	22	142
1998	29	23	121	29	16	75	33	24	155
1999	30	24	128	31	17	97	34	25	172

* Después del raleo. Nota: Las poblaciones residuales después del raleo (densidad inicial de 278 árboles ha⁻¹ para todas las especies) de *TERIVO*, *CORALL* y *TABROS* fueron 170 ± 12, 179 ± 6 y 177 ± 8, respectivamente.

Un estudio de largo plazo, combinando cacao con diferentes especies maderables, frutales y de servicio en FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola), Atlántida, Honduras (Sánchez et al. 2002) mostró resultados similares. Los maderables (*Cordia megalantha* y *Terminalia superba*) crecieron rápidamente, con incrementos medios en diámetro de 3,4 cm y 5,4 cm a los 11 y 14 años de edad, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Características dasométricas de 16 especies maderables asociadas con cacao, CEDEC, La Másica, Atlántida, Honduras. Fuente: Sánchez et al. (2002).

Especie	Densidad (árboles ha ⁻¹)	Edad	IMA diámetro (cm año ⁻¹)	IMA altura (m año ⁻¹)	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	IMA volumen (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	123	11	2,3	1,4	34,2	3,1
<i>Cojoba arborea</i> Britton & Rose	111	12	2,7	1,2	22,0	1,8
<i>Cordia bicolor</i> A. DC.	138	11	3,3	1,5	56,0	5,1
<i>Cordia megalantha</i>	185	14	3,4	1,5	150,0	10,7
<i>Dalbergia glomerata</i> Hemsl.	92	13	2,1	1,3	28,8	2,2
<i>Guarea grandifolia</i> DC.	123	12	2,2	1,3	24,8	2,1
<i>Huerteia cubensis</i> Griseb.	123	12	3,1	1,4	46,4	4,0
<i>Hyeronima</i> <i>alchorneoides</i>	83	11	2,7	1,6	36,0	3,3
<i>Ilex tectónica</i> W.J.Hanh	123	11	2,3	1,2	35,7	3,2
<i>Magnolia yoroconte</i> Dandy	104	12	1,1	0,8	3,8	0,3
<i>Plathymiscium</i> <i>dimorphandrum</i> Donn.Sm.	123	12	1,6	1,0	16,7	1,4
<i>Swietenia macrophylla</i>	Nd	14	2,0	1,2	34,7	2,5
<i>Roseodendron donnell-</i> <i>smithii</i> (Rose) Miranda	111	13	3,7	1,5	44,8	3,4
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F.Gmel) Exell	83	11	2,8	1,3	37,0	3,4
<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels	74	11	5,3	2,2	112,0	10,2
<i>Vitex gaumeri</i> Greenm.	Nd	13	2,7	1,2	72,0	5,5

2.3 Maderables de regeneración natural

La composición botánica de especies maderables de regeneración ha sido reportada para Nicaragua y Costa Rica. En Waslala, Nicaragua, el dosel de sombra de los cacaotales está dominado por la presencia de *Cordia alliodora*, *Bactris gasipaes*, *Ryania speciosa*, *Brosimum terrabanum*, *Piper aducum* y *Zuelania gidonia* (Matey et al. 2013). La densidad de maderables en estas fincas es de 31 árboles ha⁻¹ (Almendarez et al. 2013). En los cacaotales de Talamanca, Costa Rica, varios estudios del dosel de sombra (Arce-Hernández 2006, Suatunce et al. 2003) han demostrado el rol predominante de *C. alliodora*.

Las poblaciones de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales de las Reservas Indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica han sido estudiadas en su comportamiento productivo y cambios en las poblaciones y distribuciones de frecuencias de diámetro del tronco por Suárez (2001) y Calero Borge (2008). El laurel (*Cordia alliodora*) mantiene un promedio de 52,4 árboles ha⁻¹ en cacaotales y 53,8 árboles ha⁻¹ en bananales, y un volumen total de 55,4 m³ ha⁻¹ en cacaotales y 52,6 m³ ha⁻¹ en bananales, respectivamente. En esta zona, el turno de corta del laurel, con dap = 45 cm, se alcanza a los 17 años en los suelos aluviales del valle de Talamanca (Incremento Medio Anual, IMA = 2,65 cm año⁻¹) y a los 24 años en los Ultisoles arcillosos de las lomas del piedemonte (IMA = 1,87 cm año⁻¹). Los SAF de cacao con *C. alliodora* y *C. odorata* en el valle presentan mayores existencias de madera y crecieron más rápidamente que en las colinas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Existencias de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* en sistemas agroforestales con cacao en condiciones de valle y ladera en Talamanca, Costa Rica, 2005. Fuente: Calero Borge (2008).

Cultivo	Cacao	
Unidad Fisiográfica	Valle	Colina
Variable	<i>Cordia alliodora</i>	
Densidad (árboles ha ⁻¹ dap ≥ 4 cm)	55,7a ± 7,0	49,1a ± 6,7
Densidad (árboles ha ⁻¹ dap ≥ 45 cm)	10,83 a ± 2,0	6,83a ± 1,6
Área basal ≥ 4 cm (m ² ha ⁻¹)	5,59a ± 0,8	3,87a ± 0,4
Área basal ≥ 45 cm (m ² ha ⁻¹)	2,67a ± 0,5	1,63a ± 0,4
Vt ≥ 4 cm (m ³ ha ⁻¹)	66,76a ± 10,1	44,1a ± 6,6
Vc ≥ 45 cm (m ³ ha ⁻¹)	38,52a ± 7,6	23,56 a ± 6,5
	<i>Cedrela odorata</i>	
Densidad (árboles ha ⁻¹ dap ≥ 4 cm)	3,03a ± 1,4	3,39a ± 1,9
Densidad (árboles ha ⁻¹ dap ≥ 45 cm)	0,82 a ± 0,3	0,47 a ± 0,2
Área basal ≥ 4 cm (m ² ha ⁻¹)	0,38 a ± 0,1	0,29 a ± 0,1
Área basal ≥ 45 cm (m ² ha ⁻¹)	0,30 a ± 0,1	0,14 a ± 0,1
Vc ≥ 45 cm (m ³ ha ⁻¹)	2,07 a ± 0,9	0,96 a ± 0,5

Vc = volumen comercial. Vt = volumen total. ± = desviación estándar. Letras iguales no difieren estadísticamente (p > 0,05).

3. CAFETALES

En Centroamérica el café se cultiva bajo sombra en un amplio rango de condiciones agroecológicas y socioeconómicas (Salgado 2012). Los cafetales tradicionales tienen una estructura vertical de uno hasta cuatro estratos de sombra, compuestos por una variedad de especies que cumplen diversas funciones (Cuadro 6).

Cuadro 6. Beneficios de los componentes frecuentes del sistema agroforestal de café en Centroamérica. Fuente: Salgado (2012).

Estrato de sombra	1	2	3	4
Componentes	Musáceas	Frutales	Leguminosas fijadoras de nitrógeno	Maderables
Beneficios	Ingresos a corto plazo	Ingresos a mediano plazo	Producción de leña	Ingresos a largo plazo
	Mantenimiento y fertilización del suelo	Fertilización del suelo, "bomba de nutrientes"	Fertilización y mantenimiento del suelo	Fertilización y mantenimiento del suelo

3.1 Principales especies

Varias especies leguminosas arbóreas fijadoras de nitrógeno se usan regularmente como sombra en café en Centroamérica, incluyendo: *Inga edulis*, *I. densiflora*, *Erythrina poeppigianna*, *E. fusca*, *Albizia* spp. (Augspurger et al. 2000). En Honduras, por ejemplo, el café se planta bajo varias especies del género *Inga*. (Ordóñez y Sosa 2006). Las especies maderables más encontradas en cafetales son *Cedrela odorata* y *Cordia alliodora* (Beer et al. 1998). En Costa Rica, *Cordia alliodora* y *Grevillea robusta* son óptimas para producción de madera y *Erythrina costarricensis*, *Casuarina* spp. e *Inga* spp. para producción de leña (Morales et al. 2002). En fincas de la zona de Pérez Zeledón, Costa Rica, se encontraron otras especies maderables, incluyendo *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y *T. amazonica* que son consideradas como buenas especies de sombra para el café, si se plantan a espaciamientos de más de 6 m dentro del cafetal (Tavarez et al. 1999). Muschler et al. (2006) presentan una lista de especies recomendadas por productores en estudios de diversidad arbórea en cafetales de zonas productoras de café en México, Guatemala y Costa Rica (Cuadro 7).

Cuadro 7. Especies maderables utilizadas en zonas cafetaleras de México, Guatemala y Costa Rica.
Fuente: Salgado (2012).

Especie	Uso / comentarios	Región cafetalera
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Arn.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC.	Madera	Chiapas, México
<i>Aspidosperma megalocarpon</i> Müll. Arg.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq.) Dugand	Adaptado a zonas secas, espinoso	Nicoya y Pérez Zeledón, Costa Rica
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Copa muy densa, Madera	Atlántico, Costa Rica
<i>Cedrela odorata</i> L.	Madera de alta calidad	Costa Rica y Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Madera para muebles, leña	Chiapas, México Atlántico y Pacífico, Costa Rica, Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex R. Br.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Ocotea</i> spp.	Madera, frutas para aves	Atlántico, Costa Rica
<i>Nectandra glabrescens</i> Benth.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Saurauia villosa</i> DC.	Madera, leña	Chiapas, México
<i>Simarouba glauca</i> DC.	Madera, frutos, madera fácil de trabajar	Atlántico, Costa Rica
<i>Swietenia humilis</i> Zucc.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A. DC.	Madera, leña, bifurcaciones reducen valor del tronco	Pacífico, Costa Rica y costa del Pacífico, Guatemala
<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala
<i>Virola koschnyi</i> Warb.	Madera, frutos	Atlántico, Costa Rica
<i>Zanthoxylum procerum</i> Donn. Sm.	Madera	Costa del Pacífico, Guatemala

3.2 Madera en pie, densidades, crecimiento y rendimiento maderable

En los SAF con café, los árboles pueden ser establecidos en bloque o en línea. En 244 fincas de café diversificadas con plantaciones de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) de las cinco regiones cafetaleras de Honduras, Jiménez (2012) midió las características dasométricas de los rodales. Los diámetros a la altura del pecho (dap) encontrados fueron de 0,11 - 94,54 cm para plantaciones de cedro de 2 a 32 años de edad y 0,81 - 34,12 cm para plantaciones de caoba de 2 a 25 años de edad. Las alturas totales encontradas en campo fueron de 1,8 - 27,43 m para cedro y de 1,15 - 13 m para caoba. Los escenarios de manejo bajo las condiciones del estudio de Jiménez (2012) en las zonas cafetaleras de Honduras permiten obtener 28-32 m³ ha⁻¹ de madera aserrada para cedro a los 21 años de edad y una densidad máxima alcanzable por la especie de 65 árboles ha⁻¹, con un 47% del cafetal cubierto con sombra. La caoba puede alcanzar 22 - 29,30 m³ ha⁻¹ de madera aserrada con un máximo de 100 árboles ha⁻¹ y un 48% del cafetal cubierto con sombra.

Árboles maderables en línea diversifican la producción del predio cafetalero y utilizan zonas sub-aprovechadas o que están sin manejo productivo. En Honduras, el IHCAFE está incluyendo especies como cedro, caoba y laurel en linderos con el fin de evaluar la adaptabilidad de estas especies en diferentes zonas cafetaleras del país. Viera y Pineda (2004) reportan linderos maderables de *Cedrela odorata* en plantaciones de café plantados desde 1980 y recomiendan el uso de este tipo de asociaciones ya que los precios de la madera son más estables que los del café, permitiendo aprovechar los árboles durante las caídas del precio de las cosechas del cultivo. A su vez, Rojas et al. (2004) recomendaron especies maderables para implementar en linderos diferenciados para zonas altas y bajas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Especies recomendadas en linderos para café en el valle central de Costa Rica.
Fuente: Rojas et al. (2004).

Nombre Común	Nombre científico	Zona de producción
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Alta
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Alta
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh	Alta
Grevillea	<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex R. Br.	Alta
Jaúl	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Alta
Nogal	<i>Juglans neotropica</i> Diels	Alta
Pino	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	Alta
Amarillón	<i>Terminalia amazonia</i> (J.F.Gmel) Exell	Baja
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Baja
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i> L.	Baja
Eucalipto	<i>Eucalyptus deglupta</i> Blume	Baja
Gallinazo	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake	Baja
Mangium	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Baja
Pino caribeño	<i>Pinus caribaea</i> Morelet	Baja
Roble de sabana	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A. DC.	Baja
Ronrón	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Baja

Somarriba y Beer (1987) reportaron que la producción de madera de 100 árboles ha⁻¹ de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cafetales de Turrialba, Costa Rica, varía entre 4 y 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Otro estudio con *Eucalyptus saligna* mostró alta producción con incrementos medios anuales (IMA) en diámetro de 4,8 cm, altura de 3,59 m, área basal de 8,07 m² ha⁻¹ año⁻¹ y volumen de 12,78 m³ ha⁻¹ año⁻¹, en comparación con *Eucalyptus deglupta* que presentó un IMA en diámetro de 2,94 cm, altura de 2,37 m, área basal de 1,81 m² ha⁻¹ año⁻¹ y volumen de 2,46 m³ ha⁻¹ año⁻¹ (Viera 1998). En la zona de la Costa del Pacífico de Guatemala en SAF de cedro (*C. odorata*) con café se encontró que los productores aprovechan madera de árboles con dap > 40 cm y tasas anuales de extracción de 0,3 hasta 1,1 m³ ha⁻¹ año⁻¹, mientras que la tasa de crecimiento de las especies maderables evaluadas presentó valores de hasta 3 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Lo anterior a excepción de las fincas grandes semi-intensivas que reportaron tasas de extracción más altas que la tasa de crecimiento de las especies aprovechadas (13 y 10 m³ ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente; Martínez 2005). La poda de 1 ha de sombra de guama (*Inga* spp.) del cafetal produce entre el 20 al 50% del consumo anual de leña de una familia rural (FHIA 2004).

3.3 Maderables de regeneración natural

En Costa Rica, las especies nativas maderables provenientes de regeneración natural encontradas con más frecuencia son *Aspidosperma megalocarpon*, *Lafoensia puniceifolia* y *Ocotea tonduzzi* (Tavarez et al. 1999). En Honduras, Ordóñez y Sosa (2006) indican que existen combinaciones de especies maderables de regeneración natural con el café tales como pino (*Pinus oocarpa*), cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*), san juan (*Vochysia guatemalensis*), laurel negro (*Cordia gerascanthus*) y laurel blanco (*C. alliodora*), muchas de ellas consideradas como maderas valiosas. En Chiapas, México, Yépez et al. (2003) encontraron doseles de sombra con mezcla de especies plantadas [mayormente frutales como aguacate (*Persea americana*) y pomarrosa (*Syzygium jambos*)] y otras de regeneración natural, con densidades totales entre 180 a 250 árboles ha⁻¹, incluyendo: chelel (*Inga* spp.), bojón (*Cordia* spp.), pimienta (*Pimenta dioica*), ramón (*Brosimum* sp.) y guachipilín (*Diphysa robinoides*).

4. LEYES E INSTITUCIONES

La destrucción de los bosques en las últimas tres décadas ha sido en general una preocupación mucho más grande para la sociedad centroamericana, que la escasa productividad forestal (Detlefsen y Scheelje 2012). Es quizás por esta razón que los controles a la tala de bosques se privilegien más que el fomento de la producción. Las políticas forestales de la región han sido (para cuatro de los siete países de la región: El Salvador, Honduras, Nicaragua y Panamá) bastante restrictivas y poco efectivas, con lo cual no se ha logrado aumentar efectivamente la cobertura forestal (con excepción de Costa Rica) ni incrementar las exportaciones de madera procesada en las últimas dos décadas. Guatemala es el único país de Centroamérica que ha elevado sus exportaciones de madera, básicamente por el aumento del área de bosques naturales y de plantaciones bajo manejo.

La mayor parte de las legislaciones y políticas forestales centroamericanas no consideran que casi todos los dueños de bosques son también productores agropecuarios (Detlefsen y Scheelje 2012). El sesgo restrictivo de las políticas forestales hacia los pequeños productores agropecuarios da por hecho que éstos son irrelevantes para la producción forestal, a pesar de que gran parte de la leña y la madera que se consume en la región proviene de fincas agropecuarias de pequeños y medianos productores (incluyendo árboles en potreros en fincas menores a 20 ha). Además, debido a que los pequeños y medianos productores frecuentemente no pueden vender sus excedentes maderables de forma legal por el carácter restrictivo de la mayor parte de las legislaciones y políticas forestales, generalmente cuando deciden aprovechar madera lo hacen de forma ilegal, a un precio que no promueve inversiones para reestablecer el componente arbóreo. Los trámites, complicados y burocráticos, para el aprovechamiento forestal contribuyen a que la cobertura arbórea de Centroamérica siga reduciéndose (Detlefsen et al. 2008). En consecuencia, la tala ilegal aumenta la oferta de madera en el mercado y tiende a reducir su precio de venta. Además, puede provocar otros impactos económicos como la pérdida de ingresos al fisco por el impuesto de venta; aumento de la degradación forestal; pérdida de servicios ambientales; pérdida de la biodiversidad; costo económico de los conflictos sociales generados por la producción incontrolada (que en ocasiones degenera en actos violentos); y la pérdida de inversiones privadas en el manejo forestal por el clima de inseguridad imperante. La suma de todas estas pérdidas es indudablemente enorme, generando un déficit de millones de dólares en los ingresos de los países involucrados.

Afortunadamente, también existen legislaciones forestales muy positivas en la región, como las de Guatemala y El Salvador, en las cuales se ha reconocido expresamente el manejo sostenible de los árboles maderables en fincas agropecuarias. Lo mismo ocurre con la legislación forestal de Belice (Rosa Cruz 2010), la cual, a pesar de que no ha sido actualizada desde 1945, desde esa época se dejó previsto que los productores agropecuarios pudiesen aprovechar madera de sus fincas en forma simplificada mediante pequeños permisos de aprovechamientos maderables (Petty Permit). La simplicidad de las legislaciones de Guatemala y Belice permite comercializar la madera en cualquier punto del mercado, pues se les asignan fácilmente las guías de transporte (Detlefsen y Scheelje 2012). Adicionalmente, Guatemala ha dado un paso más allá simplificando al máximo los procedimientos para el aprovechamiento forestal tanto de bosques naturales y plantaciones, como de árboles en campos agrícolas y potreros, es decir, en sistemas agroforestales.

En El Salvador, con la Ley Forestal del 2002 y el reglamento de ley del 2004, se crearon leyes y políticas muy amplias en cuanto al manejo de maderables en SAF que fomentan el cultivo y aprovechamiento de maderables en fincas agropecuarias mediante procedimientos muy sencillos y al alcance de todo tipo de productor. Sin embargo, actualmente no se cuenta con directrices ni manuales de procedimientos para la aplicación de la ley en su máxima expresión y se siguen aplicando procedimientos administrativos establecidos en la anterior ley forestal, ya derogada.

En Costa Rica, la Ley Forestal 7575 y su reglamento presentan una mezcla de simplicidad si se quieren aprovechar hasta 10 árboles $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1} \text{finca}^{-1}$, y gran complejidad, si se quieren aprovechar más de 10 árboles $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1} \text{finca}^{-1}$ (Scheelje 2009). Por ejemplo, para la explotación de > 10 árboles $\text{año}^{-1} \text{finca}^{-1}$, los productores deben contratar un regente forestal, realizar inventario

forestal y presentar todos los requisitos implícitos en la ley, su reglamento y los manuales o guías para la solicitud de permisos de aprovechamiento. En consecuencia, en Costa Rica es relativamente sencillo el aprovechamiento de especies maderables en fincas de pequeños productores.

Las legislaciones forestales de Honduras (Decreto 98-07, Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre) y Nicaragua (Ley de Desarrollo y Fomento del Sector Forestal - Ley 462 – 2003; y Reglamento de la Ley Forestal - Decreto 73 – 2003) han dejado algunos artículos que permiten fomentar el manejo sostenible de los recursos maderables en las fincas agropecuarias. No obstante, en la actualidad en ambos países es necesario elaborar un plan de manejo y/o contratar regentes forestales para obtener permisos de aprovechamiento forestal en fincas agropecuarias, lo que afecta a los pequeños productores agropecuarios que no cuentan con los recursos económicos necesarios para cubrir estos costos.

En Panamá, además de requerirse la contratación de regentes y elaboración de planes de manejo, es necesario elaborar estudios de impacto ambiental y de prospección arqueológica para aprovechar madera en fincas agropecuarias. Si bien en Panamá las normativas forestales vigentes (Legislación Forestal de 1994; Ley de Medio Ambiente de 1998) han sido desarrolladas para garantizar que se evite el abuso en el aprovechamiento de los recursos maderables, una de las principales consecuencias es que los pequeños y medianos productores al no poder cumplir con todos los requisitos que exigen estas normativas forestales, consideran que los árboles maderables les representan un estorbo y conservan únicamente los mínimos necesarios para su utilización directa en las necesidades de su finca y de sus familias. El carácter punitivo o restrictivo de las leyes forestales y ambientales estimula el corte y comercio ilegal de la madera, con los problemas descritos arriba.

Se puede aseverar, que con excepción de Guatemala y Belice, las políticas forestales centroamericanas son en general poco efectivas para los pequeños y medianos productores agropecuarios. Su sesgo restrictivo ha favorecido en buena parte a la ilegalidad en el aprovechamiento y comercialización de la madera proveniente de fincas agropecuarias. Por otra parte, aunque en algunos casos, como en Guatemala y Belice, las políticas han reconocido la importancia de la producción arbórea en fincas agropecuarias para el fomento de su producción con requisitos simples y efectivos, falta difundir las bondades de esta herramienta de desarrollo a los demás países centroamericanos. En El Salvador hace falta elaborar guías técnicas y manuales de procedimientos simplificados para la otorgación de permisos de transporte y comercialización de madera. En Costa Rica debería promoverse la simplificación de trámites para el aprovechamiento maderable en fincas agropecuarias para más de 10 árboles al año. Honduras y Nicaragua requieren el desarrollo de políticas de simplificación para el aprovechamiento maderable y en Panamá se deberían promover ajustes mayores que reduzcan el carácter restrictivo de la legislación.

CONCLUSIONES

El crecimiento y rendimiento de las especies maderables establecidas en líneas, en forma de árboles dispersos y en bloque en asociación con cultivos y/o pastos en las fincas de Centroamérica son muy buenos. La producción de madera puede ser una actividad económicamente atractiva, complementaria a otras medidas de optimización y diversificación de la producción de las fincas. Algunos ejemplos son:

- En sistemas de árboles dispersos en potreros de Esparza (Costa Rica), El Cayo (Belice) y Copán (Honduras) se han registrado volúmenes de madera de *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata* y otras que oscilan entre 13 y 19 m³ ha⁻¹.
- Árboles en linderos de *Eucalyptus camaldulensis* con pasturas pueden presentar 100 m³ km⁻¹ en Copán (Honduras) y de 62 a 79 m³ km⁻¹ en linderos de *Tectona grandis* y *Terminalia ivorensis* a los 60 meses de edad en Changuinola (Panamá).
- En sistemas cacaotales con sombra plantada, en Talamanca (Costa Rica) y Bocas del Toro (Panamá) los árboles maderables de *Cordia alliodora*, *Terminalia ivorensis* y *Tabebuia rosea* alcanzaron 97-173 m³ ha⁻¹ de volumen a los 10 años de edad. En Atlántida (Honduras) se encontraron volúmenes de entre 4 (*Magnolia yoroconte*) y 150 (*Cordia megalantha*) m³ ha⁻¹ en plantaciones de 12 y 14 años establecidas con cacao, respectivamente.
- En cafetales de Turrialba (Costa Rica) la producción de *Cordia alliodora* varía entre 4 y 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y en las zonas cafetaleras de Honduras se pueden obtener 28-32 m³ ha⁻¹ de madera aserrada para cedro a los 21 años de edad, con una densidad máxima de 65 árboles ha⁻¹. Caoba (*Swietenia macrophylla*) puede alcanzar 22 - 29,30 m³ ha⁻¹ de madera aserrada con un máximo de 100 árboles ha⁻¹ a los 25 años de edad.
- En plantaciones lineales, en los suelos aluviales del río Sixaola, en la costa Atlántica de Costa Rica y Panamá, laurel (*Cordia alliodora*), eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) y roble de marfil (*Terminalia ivorensis*) alcanzaron un volumen de 89, 191 y 140 m³ km⁻¹ respectivamente, a los seis años de edad. En Atlántida, Honduras se reportan volúmenes de aprovechamiento de madera de hasta 200 m³ km⁻¹ para linderos de *Cedrela odorata* con una densidad de 59 árboles km⁻¹ a la edad de 20 años.

La simplificación de los procesos de autorización de permisos para el aprovechamiento maderable en la región, como se hace actualmente en Guatemala y Belice, podría fomentar el manejo sostenible de los árboles maderables en fincas agropecuarias y la comercialización legal de la madera en cualquier punto del mercado. El cultivo, manejo y aprovechamiento legal de la madera producida en fincas agropecuarias diversificaría la producción, aumentaría el ingreso de la familia rural y el valor de las propiedades, almacenaría carbono y proveería otros servicios ecosistémicos a la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Almendarez, E; Orozco, L; López, A. 2013. Existencias de especies maderables y frutales en fincas de Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 49:68-77.
- Andrade Castañeda, HJ. 2007. Growth and inter-specific interactions in young silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica. Tesis PhD. Turrialba, Costa Rica, CATIE-UWB. 224 p.
- Arce-Hernández, N. 2006. Almacenamiento de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano, en fincas de pequeños productores de territorios indígenas Cabécar y Bribri de Talamanca, Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). 73 p.
- Augspurger, F; Berger, J; Censkowsky, U; Heid, P; Milz, J; Streit, C. 2000. Agricultura orgánica en el trópico y subtropical; guías de 18 cultivos: Café (en línea). Asociación Naturland. Disponible En: <http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Publication/Espanol/cafe.pdf>
- Asare, R. 2004. Cocoa agroforests in West Africa: a look at activities on preferred trees in the farming systems. Horsholm, Denmark, Danish Centre for Forest Landscape and Planning. 77 p.
- Beer, J; Ibrahim, M; Schlonvoigt, A. 2000. Timber production in tropical agroforestry systems of Central America. Pp. 777-786. En: Krishnapillay, B; Soepadmo, E; Lotfy Arshad, N; Wong, A; Appanah, S; Wan Chik, S; Manokaran, N; Lay Tong, H; Kean Choon, K. (Eds.). *Forests and society: The role of research. Vol. 1: Sub-plenary Sessions, XXI IUFRO World Congress*, Kuala Lumpur. Disponible En: http://www.sri.cmu.ac.th/~environment/Download/database_FS_01.pdf
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Bentley, JW; Boa, E; Stonehouse, J. 2004. Neighbor trees: shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Human Ecology* 32(2): 241-270.
- Calero Borge, WA. 2008. Producción e incrementos de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*) de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 75 p.
- Camargo García, JC. 1999. Dinámica poblacional en la fase temprana de establecimiento de laurel (*Cordia alliodora*), dentro de cuatro pasturas diferentes en el trópico húmedo y sub-húmedo de Costa Rica. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 127 p.
- Cordero, J; Boshier, DH. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, Reino Unido, OFI/CATIE. 1079 p.
- Chavarría, A. 2010. Incidencia de la legislación forestal en el recurso maderable de fincas agroforestales con énfasis en sistemas silvopastoriles de Copán, Honduras. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 195 p.
- Del Gato, F. 2008. Los impactos de la producción forestal no controlada en Honduras. (en línea). Disponible En: <http://www.talailegal-centroamerica.org>
- Detlefsen, G; Scheelje, M. 2012. Las normativas legales y el aprovechamiento de madera en fincas. Pp. 211-244 En: Detlefsen, G; Somarriba, E. (Eds.). *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 246 p.
- 40 Detlefsen, G; Pomareda, C; Ibrahim, M; Pezo, D. 2008. La legislación forestal debe ser revisada para fomentar y aprovechar el recurso maderable en fincas ganaderas de Centroamérica. Síntesis para Decisores. PB1-CATIE. 4 p.
-

- Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: sources or sinks for greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31:99-116.
- Esquivel, H; Ibrahim, M; Harvey, C; Villanueva, C; Benjamín, T; Sinclair, F. 2003. Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):24-29.
- Esquivel, MJ. 2005. Regeneración natural de árboles y arbustos en potreros activos en Muy Muy, Matagalpa, Nicaragua. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 142 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. Informe Principal No. 163: Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Roma, Italia. 346 p.
- FAO. 2012. State of the World's Forests 2012. Rome, Italy, FAO. 46 p.
- FAOSTAT. 2013. Base de datos estadísticos (en línea). Disponible *En:* <http://faostat.fao.org>
- Faurby, O; Barahona, T. 1998. Silvicultura de especies maderables nativas del trópico seco de Nicaragua. Managua, Nicaragua, Instituto Nitalpan Universidad Centroamericana. 134 p.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 2004. Guía práctica: Producción de café con sombra de maderables (en línea). Disponible *En:* http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/gpcafeconsombra-maderables.pdf
- Godoy, R; Bennett, C. 1989. Diversification among coffee smallholders in the highlands of South Sumatra, Indonesia. *Human Ecology* 16:397-420.
- Ibrahim, M; Zapata, P. 2012. Producción de madera en sistemas silvopastoriles. Pp. 112-132 *En:* Detlefsen, G; Somarriba, E. (Eds.). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 246 p.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- Jiménez, G. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 96 p.
- López, M; Detlefsen, G. 2012. Agroforestería y la producción de madera. Pp. 9-20 *En:* Detlefsen, G; Somarriba, E. (Eds.). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 246 p.
- Luján, R; Beer, J; Kapp, G. 1996. Manejo y crecimiento de linderos de tres especies maderables en el valle de Sixaola, Talamanca, Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico no. 241. Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 55 p.
- Martínez, MH. 2005. Contribución económica del componente forestal en diferentes tipos de fincas cafetaleras en la Boca, Costa Pacífica de Guatemala. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.
- Matey, A; Zeledón, L; Orozco, L; Chavarría, F; López, A; Deheuvels, O. 2013. Composición florística y estructura de cacaotales y parches de bosque en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 49:61-67.
- Morales, J; Carneiro, C; Serrano, O. 2002. Estado de la información forestal en Costa Rica (en línea). Santiago, Chile, FAO-Comisión Europea. 232 p. Disponible *En:* <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/ad400s/ad400s00.pdf>
- Muschler, R; Yépez, C; Rodríguez, A; Peters, W; Pohlan, J. 2006. Manejo y valoración de la biodiversidad de flora y fauna en cafetales. Pp. 333-359 *En:* Pohlan, J; Soto, L; Barrera, J. (Eds.). El cafetal del futuro: realidades y visiones. Disponible *En:* http://www.equatorinitiative.org/images/stories/2002winners/Cafe_LaSelva/muschler_333.pdf

- Nair, PKR; Kumar, BM; Nair, VD. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:10-23.
- Ordóñez, MA; Sosa, MH. 2006. Uso y manejo de sombra en cafetales (en línea). Disponible *En:* http://www.ihcafe.hr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=33:tec-guia-uso-manejo-sombra&id=1:area-tecnica&Itemid=143&start=20
- Orozco Aguilar, L; López Sampson, A. 2013a. Evolución, aplicación y futuro de la agroforestería en Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 49:99-110.
- Orozco, L; Deheuvels, O. 2007. El cacao en Centroamérica: resultados del diagnóstico de familias, fincas y cacaotales (Línea base del Proyecto Competitividad y ambiente en los paisajes cacaoteros de Centroamérica). Managua, Nicaragua, 162 p.
- Orozco, L; Deheuvels, O; Somarriba, E; Villalobos, M. 2013b. El cacao en Centroamérica: resultados del diagnóstico de familias, fincas y cacaotales (Línea base del Proyecto Competitividad y ambiente en los paisajes cacaoteros de Centroamérica). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 162 p.
- PEN (Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible). 2013. Estadísticas de Centroamérica 2013: indicadores sobre desarrollo humano sostenible. San José, Costa Rica, PEN.106 p.
- Ramírez, O; Somarriba, E; Ludewigs, T; Ferreira, P. 2001. Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. *Agroforestry Systems* 51:141-154.
- Rice, RA; Greenberg, R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *AMBIO* 29(3):167-173.
- Rojas, F; Canessa, R; Ramírez, J. 2004. Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, ICAFE- ITCR. 151 p.
- Rosa Cruz, A. 2010. Desafíos de la legislación forestal para el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de El Cayo, Belice. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 123 p.
- Ruf, F; Schroth, G. 2004. Chocolate forest and monocultures: a historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. Pp. 107-134 *En:* Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (Eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington, D.C., EE.UU., Island Press.
- Salgado, J. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales con café. Pp. 145-160 *En:* Detlefsen, G; Somarriba, E. (Eds.). Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Sánchez, JAM; Dubón, A; Krigsvold, D. 2002. Uso de rambután (*Nephelium lappaceum*) con cedro (*Cedrela odorata*) y laurel negro (*Cordia megalantha*) como sombra permanente en el cultivo del cacao. *Actas, Interamerican Society of Tropical Horticulture* 46: 57-60.
- Sánchez, D; Harvey, C; Grijalva, A; Medina, A; Vílchez, S; Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua (en línea). Disponible *En:* <http://www.ots.ac.cr/tropiweb/attachments/volumes/vol53-3-4/09-SANCHEZDiv.indd.pdf>
- Scheelje, M. 2009. Incidencia de la legislación sobre el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de Costa Rica. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 127 p.
- Somarriba, E; Beer, J. 1987. Dimensions, volumes, and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 18:113-126.
- Somarriba, E. 1988. Guava (*Psidium guajava* L.) trees in a pasture: population model, sensitivity analyses, and applications. *Agroforestry Systems* 6:3-17.

- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):12-17.
- Somarriba, E; Harvey, C; Samper, M; Anthony, F; González, J; Staver, C; Rice, R. 2004. Biodiversity in neotropical *Coffea arabica* plantations. Pp. 198-226 *En: Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (Eds.). Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscape. Washington, D.C., USA, Island Press.*
- Somarriba, E. 2007. Cocoa and shade trees: production, diversification and environmental services. *Gro-Cocoa* 11:1-4.
- Somarriba, E; Villalobos, M; Orozco, L. 2008. Cocoa in Central America. *Gro-Cocoa (CABI)* 14:5-7.
- Somarriba, E; Beer, J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforestry Systems* 81:109-121.
- Somarriba, E. 2012. The population dynamics and productivity of *Acacia pennatula* in the pasturelands of the Nature Reserve Mesas de Moropotenté, Estelí, Nicaragua. *Agroforestry Systems* 84:1-9.
- Somarriba, E; Beer, J; Alegre, J; Andrade, J; Cerda, R; De Clerck, F; Detlefsen, G; Escalante, M; Giraldo, M; Ibrahim, M; Krishnamurthy, L; Mena, V; Mora, J; Orozco, L; Scheelje, M; Campos, J. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. Pp. 429-453 *En: Nair, R; Garrity, D. (Eds.). Agroforestry: The future of global land use. The Netherlands, Springer.*
- Souza de Abreu, MH. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. Tesis PhD. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47 p.
- 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 MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 77 p.
- Suatunce, P; Somarriba, E; Harvey, C; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los territorios indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10(37-38): 31-35.
- Tavarez, 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* 23:17-20.
- Varangis, P; Siegel, P; Giovannucci, D; Lewin, B. 2003. Dealing with the coffee crisis in Central America: Impacts and strategies. World Bank Policy Research Working Paper 2993. 76 p.
- Viera, C. 1998. Evaluación del uso de incentivos forestales en el establecimiento y manejo de árboles maderables en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en Grecia, Costa Rica. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 107 p.
- Viera, C; Pineda, A. 2004. Productividad de lindero maderable de *Cedrela odorata*. *Agronomía Mesoamericana (Costa Rica)* 15:85-92.
- Villanueva, C; Tobar, D; Ibrahim, M; Casasola, F; Barrantes, J; Arguedas, R. 2007. Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:12-20.
- Yépez, C; Muschler, R; Benjamín, T; Maúlen, M. 2003. Selección de especies para sombra en cafetales diversificados de Chiapas, México. *Agroforestería en las Américas* 35-36:55-61.
- Zomer, RJ; Trabucco, A; Coe, R; Place, F. 2009. Trees on farm: Analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry. Working Paper No. 89. Nairobi, Kenya, World Agroforestry Centre (ICRAF). 72 p.



Capítulo 3 –

SISTEMAS TAUNGYA EN PLANTACIONES DE ESPECIES FORESTALES DE ALTO VALOR COMERCIAL EN VENEZUELA

Eduardo E. Escalante¹ y Álvaro Guerra²

¹Profesor Titular Jubilado de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Consultor Agroforestal Independiente. Teléfono: 58-414-0718432.

Correo electrónico: escalan3e60@yahoo.com, eescalan3e57@hotmail.com

²Fundación Danac, Encrucijada de Marín, San Javier, Estado Yaracuy, Venezuela

RESUMEN

En el presente capítulo se describen sistemas Taungya exitosos en Venezuela, en los que cultivos de ciclo corto y semianuales como el plátano (*Musa* spp.), se han intercalado en las plantaciones maderables de alto valor comercial durante los dos primeros años, produciendo alimento para las comunidades involucradas e ingresos adicionales que compensan la inversión inicial. Estos sistemas además proveen un significativo número de beneficios y servicios intangibles, tanto para el ambiente como para las comunidades. Los sistemas Taungya reducen significativamente los costos de establecimiento de las plantaciones en los primeros años y mejoran el comportamiento financiero de la inversión en madera, en la que hay que esperar muchos años para su aprovechamiento y obtención de beneficios económicos. Estos costos evitados al inicio de la plantación forestal son muy importantes para el comportamiento financiero del sistema.

Se reseña la experiencia de Fundación Danac, Estado Yaracuy, en la que especies anuales leguminosas fueron establecidas en plantaciones maderables, con el propósito de mejorar la fertilidad del suelo, controlar las malezas y producir alimento para las comunidades vecinas. Asimismo se describen algunas experiencias del establecimiento de cultivos anuales en lotes forestales de pequeños productores ocupantes de las Reservas Forestales de Ticoporo y Caparo en el Estado Barinas, con la finalidad de producir alimentos y recuperar su uso forestal en áreas altamente deforestadas y degradadas por el establecimiento de pasturas y pequeños conucos o chacras. Finalmente se describe brevemente la exitosa experiencia de la empresa DEFORSA, en la que cientos de hectáreas de *Eucalyptus urophylla* han sido intercaladas con arroz, sorgo y otros cultivos anuales para la producción de alimento para sus trabajadores y comunidades vecinas. Las experiencias anteriores reafirman el potencial de los sistemas Taungya como una alternativa sustentable y eficiente del uso de la tierra para la seguridad agroalimentaria y la restauración de sitios degradados.





INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XIX, se desarrolló en Burma (Birmania) el sistema “Taungya,” término que se traduce como “cultivo en colinas,” en el que cultivos anuales eran establecidos en plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis*) con el objetivo de proveer alimentos a los trabajadores que laboraban en dichas plantaciones con aprovechamiento del espacio durante los primeros dos a cuatro años de desarrollo de la plantación. El sistema Taungya fue introducido en el Sur de África en 1887, y llevado a la India en 1890, habiéndose posteriormente expandido a otras regiones de Asia, África y Latinoamérica (MacDicken y Vergara 1990, Nair 1993).

Otra de las ventajas de la aplicación del sistema Taungya era que al permitir a pequeños productores cultivar especies agrícolas anuales entre las líneas de las plantaciones, se evitaba la destrucción del bosque que ellos utilizaban para el establecimiento de los cultivos migratorios. A diferencia de la agricultura migratoria, que es un sistema secuencial, el sistema Taungya es la combinación simultánea de dos componentes durante los primeros años del establecimiento de las plantaciones, y en el que los cultivadores se comprometen, en retorno, al cuidado y manejo de la plantación (Nair 1993).

Entre las ventajas de tipo económico, la principal es la de los costos evitados en el desarrollo y manejo de la plantación forestal. La fertilización de los cultivos y el control de malezas en los cultivos asociados contribuyen a reducir los costos de establecimiento y manejo de la plantación, además de que la mano de obra es parte del contrato de uso de la tierra durante los años que duren los cultivos.

En Nigeria, el sistema Taungya probó ser un medio efectivo para proveer de tierra a los pequeños agricultores para sus cultivos, permitiendo la transformación del bosque en plantaciones forestales a un costo relativamente bajo para el gobierno. En 1975, aproximadamente 25.000 pequeños productores practicaban el sistema Taungya tradicional, estimándose que ese sistema permitía alimentar a aproximadamente 700.000 personas. En 1979, existían en Nigeria 9.226 ha bajo esta modalidad, en las que el productor era dueño de los beneficios del cultivo. Las especies forestales más utilizadas eran teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*) y terminalia (*Terminalia superba*; Enabor et al. 1981, Ball y Umeh 1981).

En Sierra Leone, Korona (1981) señala que además de las especies anteriores, han sido plantadas por medio del uso del sistema Taungya las especies arbóreas *Cassia siamea*, *Terminalia ivorensis* y *Cordia alliodora*, entre otras. Los cultivos asociados más frecuentes en ese tipo de combinación en Africa son la yuca (*Manihot esculenta*), maíz (*Zea mays*), plátano (*Musa AAB*), ocumo (*Xanthosoma spp.*) y arroz (*Oriza sativa*).

En el continente americano, en la isla Trinidad en el Caribe, se tuvo mucho éxito con la reforestación de 10.000 ha de teca y pino caribe (*Pinus caribaea*) usando el sistema Taungya, además de mencionar otras experiencias en México y Belice. En experimentos realizados en Turrialba, Costa Rica, se compararon cuatro especies forestales bajo el sistema Taungya y se obtuvieron excelentes resultados con la teca y el laurel (*Cordia alliodora*; Aguirre 1963). El sistema Taungya ha sido aplicado con éxito en numerosos desarrollos agrosilvícolas en diferentes regiones de Venezuela, principalmente en áreas de bosque seco tropical de los llanos venezolanos y en las reservas forestales del occidente del país.

El objetivo del presente capítulo es proveer una reseña de sistemas Taungya dedicados a producir cultivos agrícolas, en asociación con especies maderables de alto valor comercial en Venezuela. A manera de ejemplo se presentan tres experiencias agroforestales exitosas: 1) La Fundación Danac, con la asociación de maderables con especies leguminosas. 2) El caso de las reservas forestales del occidente del país en el Estado Barinas, donde el Estado venezolano, desde la década de los años ochenta, ha implementado programas agroforestales con el doble propósito de producir alimentos e incentivar a los pequeños productores a establecer pequeños lotes boscosos, que le devuelvan y justifiquen la figura legal de reserva forestal. De esa manera también se incorpora la mano de obra excedente de las familias campesinas ocupantes a la producción de alimentos y al manejo forestal basado en un enfoque agroforestal. 3) El caso de la empresa DEFORSA, en el Estado Cojedes, la cual utilizando el concepto de la responsabilidad social empresarial para sus trabajadores y familias de comunidades vecinas, implementó un programa agroforestal de producción de alimentos, con cultivos anuales como patilla (*Citrullus lanatus*), melón (*Cucumis melo*), frijol negro (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*) y arroz (*Oriza sativa*), cuya producción es repartida entre sus empleados, escuelas y comunidades vecinas (DEFORSA 2011).

1. EXPERIENCIAS CON SISTEMAS TAUNGYA EN VENEZUELA

1. El modelo de bosque multiespecífico de la Fundación Danac

La Fundación Danac (Desarrollo Agrícola Naranjal A.C.), es una organización no gubernamental (ONG) sin fines de lucro, cuya principal estación experimental está ubicada en San Javier, Estado Yaracuy, en una zona de vida de bosque seco tropical, con un marcado período de sequía de cinco meses al año. En sus 25 años de existencia, la Fundación Danac se ha dedicado principalmente a la investigación y el desarrollo de tecnologías para el mejoramiento genético del arroz y el maíz, además de la soya y la palma africana, construyendo alianzas con las principales universidades y fundaciones del país. En 1996, la Fundación Danac estableció el proyecto Sistema Agroforestal Bosque Multiespecífico para el desarrollo y estudio de sistemas de producción agroforestales bajo el enfoque del desarrollo sostenible. El objetivo principal del proyecto fue el establecimiento de 100 ha de árboles maderables valiosos, bambú (*Bambusa vulgaris*) y guadua (*Guadua angustifolia*), en asocio con cultivos de ciclo corto, es decir, sistemas Taungya.

Nueve sistemas fueron establecidos en el bosque multiespecífico:

1. Sistema de callejones alternos con cinco hileras de árboles maderables. Éstas consistieron en franjas de cinco hileras de teca y caoba plantadas 3 m x 3 m, alternadas con callejones de 8 m de ancho, en los que se plantó maíz y cultivos leguminosos.
2. Cultivos anuales en callejones de 10 m de ancho en plantaciones de melina y *Pinus caribaea*.
3. Sistema de cultivos anuales intercalados en plantaciones forestales de alto valor comercial plantadas con espaciamiento de 4 m x 2,5 m, con especies leguminosas utilizadas para el mejoramiento y conservación de los suelos.
4. Establecimiento de pasto vetiver en curvas de nivel, intercalado con especies maderables.
5. Sistema Silvopastoril Multiestrata Diversificado.
6. Cercas vivas de teca (*Tectona grandis*) y pardillo negro (*Cordia thaisiana*)
7. Barreras protectoras con bambú y guadua en borde de cuerpos de agua y márgenes de ríos y quebradas.
8. Plantaciones de bambú y guadua como materia prima para los artesanos de la comunidad vecina de San Javier.
9. Lotes ornamentales para protección y paisajismo de vías perimetrales de la institución.

De todos los sistemas mencionados, el más importante, tanto por su extensión como por los aportes y beneficios generados, fue el sistema de cultivos leguminosos intercalados en las plantaciones de árboles maderables. Estos cultivos fueron seleccionados con el objetivo de mejorar los suelos degradados y clasificados como Clase III según la clasificación de la FAO, por la presencia de un horizonte de conglomerados y rocas, salinización y frecuentes periodos de anegamiento.

Se establecieron 11,76 ha de pardillo (*Cordia alliodora*), 12,58 ha de caoba (*Swietenia macrophylla*), 46,8 ha de teca (*Tectona grandis*) y 12,65 ha de apamate (*Tabebuia rosea*) con un distanciamiento de 2,5 m x 4 m entre plantas e hileras para todas las especies maderables. Los callejones de 4 m facilitaron las labores agrícolas y de mecanización de los cultivos intercalados.

Además de las especies maderables antes mencionadas, se establecieron 5,02 ha de bambú (*Bambusa vulgaris*) y *Guadua* spp. con distanciamientos variables de entre 4 m y 8 m, esto con el objetivo de proveer de materia prima a los artesanos de la vecina población de San Javier y para la protección de los cauces de ríos y quebradas (Escalante et al. 2011). Al inicio de la temporada de lluvias se plantaron los cultivos leguminosos en los callejones de 4 m de ancho, quinchoncho (*Cajanus cajan*) y crotalaria (*Crotalaria juncea*). En el periodo comprendido entre 1997 y 2004, se sembraron 150,5 ha de especies leguminosas, incluyendo 109,3 ha de quinchoncho y 41,2 ha de crotalaria (Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie plantada con cultivos leguminosos de cobertura en terrenos de la Fundación Danac. Periodo 1997 - 2004.

PERIODO ANUAL	ESPECIE PLANTADA (ha)		TOTAL
	QUINCHONCHO	CROTALARIA	
1997-1998	0,50	0,70	1,20
1998-1999	8,30	3,00	11,30
1999-2000	16,00	2,50	18,50
2000-2001	25,00	8,00	33,00
2001-2002	20,00	20,00	40,00
2002-2003	28,70	5,00	33,70
2003-2004	10,80	2,00	12,80
TOTAL	109,30	41,20	150,50

Fuente: Piñuela, A. y Escalante, E. Informes trimestrales, semestrales y anuales del Proyecto, 1997 – 2006. Fundación Danac.

El quinchoncho se sembró a chorro corrido, con una sembradora de doble hilera, con un espaciamento de 80 cm entre hileras, utilizándose de 8 a 12 kg de semillas por ha. La crotalaria también se siembra con sembradora o al voleo. En el primer caso se utilizan de 10 a 15 kg ha⁻¹ y 30 kg ha⁻¹ cuando es distribuida al voleo (Figura 1).



Figura 1. Cultivo leguminoso de quinchoncho *Cajanus cajan* intercalado en los callejones de una plantación forestal de teca *Tectona grandis* con distanciamiento de 2,5 m x 4 m. Fundación Danac. Estado Yaracuy, Venezuela. Foto: E. Escalante.

Los cultivos de cobertura permanecen un par de años en el terreno hasta que son incorporados al suelo con pase de rastra, previa cosecha del grano para asegurarse la semilla para el establecimiento de nuevas áreas al año siguiente. Este es particularmente el caso del quinchoncho, el cual durante 5 años fue cosechado a mano por integrantes de las comunidades vecinas, cuyo producto fue repartido en tres partes para las comunidades y una para Fundación Danac como semilla. Durante los cinco años en que participó la comunidad, se cosechó por parte de ellos un total de 4.712 kg, además de 2.610 kg recolectados por los trabajadores de Fundación Danac, para un total de 7.322 kg en el periodo 1999 – 2004 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cosecha de quinchoncho en la Fundación Danac. Periodo 1999 – 2004.

AÑO	SUPERFICIE COSECHADA (ha)	Kg COSECHADOS		TOTAL Kg Año ⁻¹
		DANAC	COMUNIDAD	
1999	2,00	1.067,00		1.067,00
2000	6,00	585,00	1.171,50	1.756,50
2001	4,00	958,00	1.917,90	2.875,90
2002	3,00		673,00	673,00
2003	4,00		801,00	801,00
2004	1,00		148,50	148,50
TOTAL	20,00	2.610,00	4.711,90	7.321,90

Fuente: Piñuela, A. y Escalante, E. Informes trimestrales, semestrales y anuales del Proyecto, 1997 – 2006. Fundación Danac.

Como parte del manejo silvicultural de las plantaciones, se realizaron los aclareos o raleos de los lotes establecidos entre los años 1996 al 2000, y con edades entre 6 y 8 años, lo cual permitió la extracción de 8.847 árboles en un periodo de tres años entre 2004 y 2006. Su aprovechamiento permitió obtener 5.927 estantillos para cercas ganaderas, 820 madrinos o estantillos grandes, además de 3.221 varas pequeñas y 1.625 varas largas para la construcción, éstas de 4 m de largo y 12 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP; Escalante et al. 2011). Los productos obtenidos fueron utilizados en la institución para el mejoramiento de las cercas internas y perimetrales, parte fue donado y otra parte se vendió a empresas ganaderas y de construcción. Los beneficios económicos obtenidos de este aclareo pagaron una parte significativa de los costos del establecimiento inicial de dichos lotes forestales.

2. Sistemas Taungya en reservas forestales

En los altos llanos occidentales de Venezuela, en el Estado Barinas, se decretó en 1955 la formación de la Reserva Forestal Ticoporo y en 1961 la Reserva Forestal Caparo, con una superficie de 186.147 ha y 174.370 ha, respectivamente, ambas con una gran diversidad de especies de plantas y abundancia de maderas finas de alto valor económico. Para mediados de los años 70, aproximadamente el 45% (83.000 ha) de la Reserva Forestal Ticoporo habían sido desafectadas, eliminando la figura legal de Reserva Forestal en esas 83.000 ha y permitiéndose de esta forma la colonización de las tierras con fines agropecuarios para cumplir los objetivos de la reforma agraria vigente en ese entonces en las zonas rurales de Venezuela (Rojas López 1993). Este proceso de desafectaciones trajo como consecuencia un acelerado margen de invasiones por parte de campesinos sin tierras, y como consecuencia de ello, para finales del año 2000, más del 90% de los terrenos de la reserva ya se encontraban bajo uso agrícola, con aproximadamente 100.000 ha con pastizales para la ganadería extensiva, principalmente para la producción de leche. En Caparo, el panorama no era distinto, ya que para fines del año 2000, se habían deforestado 75.000 ha. Para el 2012, el proceso de ocupación y deforestación alcanzaba 140.000 ha, 90.000 de ellas dedicadas a la producción pecuaria, principalmente leche para la fabricación de queso (IFLA 2007).

Lo contradictorio de esta situación es que aún hoy en día ambas reservas continúan bajo la figura jurídica de Reserva Forestal, a pesar de que los lotes boscosos existentes no representan más del 10% (Ticoporo) y el 15% (Caparo) de la superficie total de las reservas. El gobierno nacional ha realizado varios intentos por incorporar a los ocupantes de ambas reservas a un proceso de reforestación, dando incentivos para establecer pequeños lotes boscosos de 1 a 3 ha en las unidades de producción. Se plantea que estos lotes sean establecidos en forma de diseños agroforestales, para lo cual a los agricultores se les dan plantas y asesoría técnica por parte del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

2.1 La Reserva Forestal Ticoporo

En el caso de la Reserva Forestal Ticoporo, a mediados de la década de los 80 se crea la Empresa Mixta Forestal Campesina Ticoporo C.A. (EMIFOCA) con el objetivo de organizar e integrar a la población rural ocupante a los sistemas agroforestales (SAF) mediante un proyecto con 214 familias y una superficie de 8.000 ha. Este proyecto incluía incentivos crediticios, asistencia técnica e insumos, entregados a los productores para el establecimiento de los SAF. Sin embargo, luego de una década, sólo 50 productores se habían integrado al proyecto, debido a la preferencia por la ganadería, y por el largo periodo de retorno de los cultivos forestales, además de la inexperiencia campesina en el manejo y aprovechamiento forestal (Rojas López 1993).

Como parte del convenio para el establecimiento de los sistemas agroforestales, el productor se comprometía a destinar hasta el 20% de su parcela para el establecimiento de los SAF (Revista Kronos 1987). En 1983 se inicia el proyecto agroforestal de la empresa EMIFOCA, estableciéndose varias parcelas demostrativas experimentales del sistema Taungya, con la combinación de cultivos anuales intercalados con especies maderables de alto valor económico (Balza y Heredia 1983). En 1985, en los predios de 57 productores, se establecieron 395 ha de teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*), caoba (*Swietenia macrophylla*), mijao (*Anacardium excelsum*) y apamate (*Tabebuia rosea*), en combinación con maíz y caraota (*Phaseolus vulgaris*), y de *Eucalyptus camaldulensis* con yuca. En 1986 se incorporaron 10 ocupantes más al proyecto y se plantaron 486 ha, además del establecimiento por parte de la empresa de un área de 330 ha y en 1987, con la integración de 45 productores se lograron establecer 315 ha de SAF (EMIFOCA 1987).

En los pequeños lotes boscosos establecidos, con distanciamientos de 4 m x 3 m o de 5 m x 3 m, se sembró en el primer año cultivos anuales como maíz (*Zea mays*), caraota o frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) y yuca (*Manihot esculenta*). Otros agricultores preferían plantar la yuca como segundo turno. Luego de haber cosechado el maíz o el frijol, y después de los dos primeros años, algunos aprovechaban para plantar un tercer cultivo, en este caso una musácea como el plátano (*Musa AAB*), al cual se le podía cosechar hasta dos racimos por pie por año. Esto se mantenía hasta el tercer o cuarto año de la asociación, cuando ya el desarrollo de la cobertura de los árboles cubría el terreno y no permitía el paso de suficiente radiación como para un proceso agrícola eficientemente productivo.

El maíz variedad Arichuna fue sembrado a chorro corrido con una sembradora-abonadora de cuatro hileras en los callejones, entre las hileras de las especies forestales, obteniendo rendimientos de 2.000 kg ha⁻¹. Con el objetivo de brindar alternativas al desempleo local, la cosecha del maíz se realizó en forma manual con un rendimiento de 6 a 7 sacos de maíz por jornal. Posteriormente a la siembra del maíz, se sembró caraota, variedad Tacarigua, también 4 hileras a chorro corrido, con distanciamientos de 0,60 m entre hileras. Los rendimientos obtenidos fueron entre 400 y 500 kg ha⁻¹, cosechados igualmente en forma manual.

Los agricultores que no habían sembrado yuca el primer año la sembraban en el segundo año después de la caraota, todo ello como parte de la rotación de cultivos, con un distanciamiento de 1 m entre hileras y 0,80 m entre plantas sobre la hilera. El rendimiento promedio fue de 15.000 kg ha⁻¹. Este es un cultivo que toma al menos 10 meses para ser cosechado.

En resumen, las principales asociaciones establecidas en el programa fueron maíz (*Zea mays*) asociado a teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*), caraota (*Phaseolus vulgaris*) asociada a teca (*Tectona grandis*), mijao (*Anacardium excelsum*) y melina (*Gmelina arborea*), además de otros cultivos de ciclo corto asociados con eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*).

Posteriormente, luego del tercer o cuarto año de la rotación de los cultivos, y dado que la economía principal de los agricultores ocupantes de la reserva forestal es la ganadería, muchos productores establecían pastos en las plantaciones, convirtiendo el sistema agrosilvícola en un sistema silvopastoril. Después de varios años e intentos por parte del sector oficial, es muy pequeño el porcentaje de agricultores que siguen practicando los sistemas Taungya, pues prefieren mantener la ganadería, Algunos han preferido establecer sistemas silvopastoriles en sus potreros como una vía para dar sombra y alimento al ganado.

2.2 La Reserva Forestal Caparo

A principio de los años 90, aproximadamente el 20% de la Reserva Forestal Caparo había sido deforestada para el establecimiento de sistemas de ganadería de doble propósito, carne y leche.

La Universidad de Los Andes, a través de un comodato con el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, fue facultada para administrar un lote de aproximadamente 7.900 ha dentro de la reserva. Ante la preocupación por las invasiones y deterioro ambiental de la Reserva, se estableció una finca demostrativa con parcelas pilotos agroforestales, entre ellas una parcela Taungya de pardillo negro (*Cordia thaisiana*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela odorata*) asociados con papaya (*Carica papaya*). El diseño fue de callejones de 8 m de ancho para el cultivo frutal, entre hileras dobles de árboles maderables plantados a 4 m de distancia en las hileras y entre hileras (8 m x 4 m x 4 m) para una densidad aproximada de 400 árboles por ha. La papaya fue establecida a un distanciamiento de 2,5 m x 2 m para una densidad de 2.000 plantas ha⁻¹. Posteriormente a la cosecha de la papaya, se

sembró ají dulce (*Capsicum annum*) y plátano (*Musa AAB*). Los rendimientos de papaya promediaron los 36.000 kg ha⁻¹.

Los porcentajes de sobrevivencia para las especies maderables fueron del 72% para la caoba y del 51% para el cedro, con volúmenes estimados a los 11 años de edad de 0.45 m³ árbol⁻¹ para el cedro y de 0,17m³ árbol⁻¹ para la caoba, con un DAP (diámetro a la altura del pecho) promedio de 32 cm y de 23,5 cm, respectivamente. Adicionalmente, en el caso de la caoba, hubo un segundo tratamiento, también con papaya, de hileras dobles separadas a 4 m x 4 m (entre plantas y entre hileras) con callejones de 16 m (16 m x 4 m x 4 m), con una sobrevivencia del 68%, DAP de 22,6 cm, y un volumen promedio de 0,16 m³ árbol⁻¹ (Villarreal et al. 2006).

La producción total de la cosecha fue vendida a intermediarios en la misma reserva, lo que facilitó recuperar la inversión y obtener un aporte del componente agrícola que permitió recobrar los costos del establecimiento del sistema (Villarreal et al. 2006). Actualmente el sistema se encuentra en el año 18 de su establecimiento, y la papaya fue reemplazada por cuatro variedades de cacao, destacándose la variedad criollo Mérida. El cedro ha tenido un excelente comportamiento, con individuos que superan los 60 cm de diámetro (DAP) y los 24 m de altura.

2. OTRAS EXPERIENCIAS AGROSILVÍCOLAS EN VENEZUELA

2.1 Sistemas agrosilvopastoriles con establecimiento de cultivos de ciclo corto en potreros arbolados

En las áreas de pastoreo extensivo en la costa oriental del lago de Maracaibo, Estado Zulia, y en los Estados llaneros de Portuguesa, Barinas y Apure, entre otros, es común la siembra de maíz y sorgo en áreas de pastoreo, con la presencia y bajo la sombra de árboles de samán (*Samanea saman*) y masaguaro (*Albizia guachepele*). Ambas especies son leguminosas maderables de alto valor económico. El samán produce excelente madera para muebles, piso de parquet, machihembrado para techos y artesanías, y el masaguaro se usa para la fabricación de estantillos.

El cultivo anual se establece en el potrero, con sembradora o a mano, utilizando la coa (una estaca con la que se hace un hoyo en el suelo y se siembran tres o cuatros granos de maíz), en presencia del pasto. Sin embargo, el animal no puede ser introducido al potrero hasta que se coseche el cultivo, ya sea el grano de maíz o de sorgo. Una vez cosechado el grano, el ganado es llevado al potrero para consumir la soca del cultivo (el rastrojo, la parte remanente de la planta que quedó una vez cosechado el cultivo), el cual es beneficioso para los animales porque tiene un alto contenido de materia seca aunque es de bajo contenido nutricional. El ganado se beneficia de la biomasa del cultivo, como forraje o heno, mientras que el pasto aprovecha la fertilización que se le hizo al cultivo, por lo que al momento de introducir el ganado ya está listo para ser pastoreado.

2.2 El exitoso caso agrosilvícola de la empresa DEFORSA

En Venezuela, la Empresa Desarrollos Forestales San Carlos II, S.A (DEFORSA), localizada en el Estado Cojedes, en un clima de bosque seco tropical, incorporó a inicios del siglo XXI, como parte del manejo de uso de la tierra, la actividad ganadera, agrícola y apícola, con el objeto de diversificar la producción y contribuir a su función de responsabilidad social mediante la generación de alimentos para sus trabajadores y comunidades aledañas (DEFORSA 2011). El objetivo principal

de la empresa es la producción de materia prima (madera) para la elaboración de pulpa, además de producir paletas, estantillos tratados y carbón. Los terrenos de la empresa tienen una superficie total de 14.000 ha y el 100% de las plantas son propagadas vegetativamente.

Como parte del manejo de las plantaciones, la empresa integró desde hace 11 años los sistemas agroforestales y los silvopastoriles, fusionando la producción de pasto, cultivos, animales y madera. En las plantaciones forestales de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), establecidas con un distanciamiento de 4,5 m x 2 m (1000 plantas ha⁻¹), durante el primer año de la plantación se siembran cultivos de ciclo corto como la patilla o sandía (*Citrullus lanatus*), melón (*Cucumis melo*) y caraota o frijol negro (*Phaseolus vulgaris*). En otros lotes de plantación, donde el ancho del callejón entre hileras es de 8 m a 20 m se siembran, durante los dos primeros años, cereales como maíz, sorgo, y arroz, cuyo producto está destinado a la alimentación animal y al consumo humano (Figura 2).



Figura 2. Siembra de café intercalado con *Eucalyptus urophylla* en callejones de 8 m de ancho en terrenos de la empresa DEFORSA, Estado Cojedes, Venezuela. Foto: E. Escalante.

Este sistema exitoso, único en Venezuela, ha permitido producir 215 toneladas de arroz, 150 de maíz y 30 de sorgo anualmente. Además, se han producido anualmente 600 toneladas de maíz, sorgo y caña de azúcar para hacer silaje para la alimentación de 3.100 cabezas de ganado de alto mestizaje Brahman, que pastorean dentro de la plantación forestal. Por este motivo, después de la producción agrícola de los dos primeros años, se siembra pasto, lo que permite la producción de 900 toneladas de heno para alimentar el rebaño durante la época seca (DEFORSA 2011).

CONCLUSIONES

Los sistemas descritos en el presente capítulo respaldan la hipótesis de que es factible la producción de alimentos en plantaciones forestales, principalmente durante los dos o tres primeros años del establecimiento de dichas plantaciones. El excelente control de malezas obtenido en los callejones, por efecto de la cobertura sobre el terreno, fue especialmente evidente en el caso de las experiencias de la Fundación Danac. En todos los casos señalados los beneficios comunitarios obtenidos, tanto para los trabajadores y su familia, como para las comunidades aledañas involucradas en los proyectos, fueron importantes en cuanto a la mano de obra utilizada y la mejora de la seguridad alimentaria.

Los beneficios económicos obtenidos por concepto de la producción agrícola asociada contribuyen a reducir los costos de establecimiento y manejo de las plantaciones, tanto por la venta de los productos como por los costos evitados al componente forestal del sistema. Las experiencias muestran asimismo la potencialidad de estos sistemas para la recuperación de las reservas forestales en Venezuela.



Cultivo leguminoso quinchoncho *Cajanus cajan* con Teca *Tectona grandis* de 3 años. Fundación Danac. Estado Yaracuy, Venezuela. Foto: E. Escalante.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, A. 1963. Estudio silvicultural y económico del sistema Taungya en las condiciones de Turrialba. *Turrialba* 13(13):168-171.
- Ball, J; Umeh, L. 1981. Development trends in Taungya systems in the moist lowlands of Nigeria, between 1975 and 1980. *Actas, Agroforestry in the African Humid Tropics Workshop [Nigeria, 27 abr. - 1 mayo 1981].* p. 72-78.
- Balza, E; Heredia, J. 1983. *Sistemas de Producción Agroforestal en la unidad I de Ticoporo. II Seminario Nacional de Manejo de Bosques Tropicales [San Cristóbal, Venezuela, 1983].*
- DEFORSA. 2011. *Visita DEFORSA. Folleto descriptivo del día de campo en San Carlos, Estado Cojedes, VI Congreso Forestal Venezolano [Barquisimeto, Venezuela, dic. 2011].*
- EMIFOCA. 1985, 1986, 1987. *Informes de coordinación y gerencia del proyecto. Barinas, Venezuela.*
- Enabor, E; Okojie, A; Verinumbe, I. 1981. Taungya systems: Socio-economic prospects and limitations. *Actas, Agroforestry in the African Humid Tropics Workshop [Nigeria, 27 abr. - 1 mayo 1981].* p. 59-64.
- Escalante, E; Guerra, A; Martínez, R; Piñuela, A. 2011. The Multispecies Agroforestry Systems of the Danac Foundation in Tropical Dry Forest Landscapes of Yaracuy, Venezuela (A Case Study). Pp. 69 – 81 *En: Montagnini, F; Francesconi, W; Rossi, E. (Eds.). Agroforestry as a Tool for Landscape Restoration. New York, Nova Science Publishers, Inc. 201 p.*
- IFLA. 2007. *Diagnóstico Físico, Natural, Socioeconómico y Primera Fase de Implementación de un Sistema Catastral Rural para la Reserva Forestal Caparo: Capítulo III Caracterización Socioeconómica. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, Venezuela.*
- Korona, A. 1981. Taungya in Sierra Leone. *Actas, Agroforestry in the African Humid Tropics Workshop [Nigeria, 27 abr. - 1 mayo 1981].* p. 67-69.
- MacDicken, K; Vergara, N. 1990. *Agroforestry, Clasification and Management. New York, Wiley Interscience. 382 p.*
- Nair, RPK. 1993. *An Introduction to Agroforestry. London, Kluwer Academic Publishers. 499 p.*
- Piñuela, A; Escalante EE. 1997-2006. *Informes trimestrales, semestrales y anuales del proyecto Bosque Agroforestal Multiespecífico. San Felipe, Estado Yaracuy, Venezuela, Fundación para la Investigación Agrícola Danac.*
- Revista Kronos. 1987. Año 1- 37. Barinas, Venezuela. Diciembre 1987.
- Rojas López, J. 1993. *La colonización Agraria de las Reservas Forestales: Un proceso sin solución?. Cuadernos Geográficos 10. Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales. ULA. Mérida, Venezuela.*
- Villarreal, A; Carrero, G; Arends, E; Sánchez, D; Escalante, E. 2006. Evaluación de rendimientos y rentabilidad de los componentes asociados Caoba (*Swietenia acrophylla*), Cedro (*Cedrela odorata*) y Lechosa (*Carica papaya*), establecidos en ensayos agroforestales en la finca de la ULA, Estación Experimental Caparo, Estado Barinas, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 39:85-104.



Capítulo 4

PRODUCTIVIDAD EN SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS EN AMÉRICA LATINA

Enrique Murgueitio R.^{1,*}, Martha Xóchitl Flores², Zoraida Calle D.¹, Julián D.Chará¹ Rolando Barahona³, Carlos Hernando Molina D.⁴ y Fernando Uribe T.¹

¹Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV, Cra 25 # 6-62, Cali, Colombia. www.cipav.org.co

*Correo electrónico: enriquem@fun.cipav.org.co, Tel: +57 (2) 5243061

²Fundación Produce Michoacán. Morelia, México. www.producemich.org.mx

³Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. <http://www.unal.edu.co>

⁴Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca, Colombia

RESUMEN

Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) son un uso de la tierra dentro de la modalidad de los Sistemas Agroforestales Pecuarios (SAFP) caracterizados por aplicar varios procesos agroecológicos como la conversión de energía solar en biomasa a través de una vegetación estratificada, una alta fijación de nitrógeno atmosférico, la protección y uso sustentable del agua, la rehabilitación de suelos degradados, el reciclaje de nutrientes, la oferta de hábitat para organismos controladores biológicos, y la conservación y uso de la biodiversidad. Los SSPi combinan el cultivo agroecológico de arbustos forrajeros en alta densidad para el ramoneo directo del ganado; emplean varios pastos tropicales seleccionados y muchas especies de árboles maderables o frutales. Este sistema requiere la oferta permanente de agua de buena calidad en bebederos móviles para los animales y sal mineralizada.

El presente capítulo ofrece una revisión de numerosos trabajos de investigación, en su mayoría realizados en América Latina, que evidencian el incremento de la producción de carne y leche a menores costos financieros y con evidentes atributos de sustentabilidad. Se divide en siete secciones correspondientes al marco general, las definiciones, los principios agroecológicos que se aplican, la convergencia de distintas investigaciones con las que se realizó el ensamblaje del sistema a lo largo de dos décadas; las expresiones en producción de biomasa y su transformación en carne y leche; la rehabilitación productiva de suelos, las diferentes especies de árboles y palmas que constituyen el tercer estrato; el análisis financiero y observaciones económicas que soportan su viabilidad y finalmente enumera los últimos progresos en la adaptación a nuevos agroecosistemas como el trópico de altura.

Se destaca cómo el mayor efecto positivo se alcanza con el aumento en la carga animal (hasta cuatro veces superior frente al pastoreo extensivo) y en consecuencia la producción de carne y leche por hectárea por año, con evidencias de que se generan productos de elevada calidad nutricional.

Por los argumentos y conocimientos acumulados hasta la fecha, en varios países los SSPi también son promovidos por alianzas entre gobiernos, organizaciones de productores e instituciones de cooperación para el desarrollo rural sustentable, toda vez que facilitan el ordenamiento ambiental del territorio ocupado por la ganadería y pueden ser una herramienta para reducir la presión por la deforestación, de la misma manera que favorecen la lucha contra el cambio climático al tener atributos para la mitigación y la adaptación a este fenómeno global.





INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Agroforestales Pecuarios (SAFP) son usos de la tierra con atributos de sustentabilidad que contienen una serie de procesos facilitadores de la reconversión productiva de la ganadería convencional de pastoreo. En estos modelos, se alcanza una mayor captura de energía solar por la presencia de una vegetación más compleja y variada que tiende al incremento de la productividad y la eficiencia de la ganadería. Esta intensificación natural genera sistemas más rentables que aplican los principios agroecológicos y, como consecuencia, elevan la capacidad para generar bienes y servicios ecosistémicos dentro de los que se destacan el potencial para rehabilitar tierras degradadas y enfrentar las consecuencias del cambio climático (Montagnini 2011).

El Sistema Silvopastoril Intensivo (SSPi) es un arreglo agroforestal de varios estratos que combina el cultivo agroecológico de arbustos forrajeros en alta densidad (mayor a 10.000 hectárea⁻¹) para el ramoneo directo del ganado; emplea pastos tropicales seleccionados asociados a árboles. Estos pueden seleccionarse de tres grupos que difieren claramente en su función y suministro de bienes y servicios:

1. Árboles de alto valor por su madera preciosa como la caoba (*Swietenia macrophylla* King), el cedro tropical (*Cedrela odorata* L. de la familia Meliaceae), el roble morado (*Tabebuia rosea* [Bertol.] D.C, familia Bignoniaceae) y otras especies maderables como la *Acacia mangium* Willd. (Leguminosae, sub-Familia Mimosoideae) o para pulpa de papel, como los eucaliptos (*Eucalyptus* spp, familia Myrtaceae; Calle et al. 2012).
2. Árboles maderables que benefician al ganado y otros animales con follaje, sombra y frutos comestibles como el samán o campano (*Samanea saman* [Jacq.] Merrill), el orejero o caro caro (*Enterolobium cyclocarpum* [Jacq.] Griseb), el totumo o árbol calabaza (*Crescentia cujete* L., familia Bignoniaceae), el matarratón o madero negro (*Gliricidia sepium* [Jacq.] Kunth ex Walp familia Fabaceae), y cañafistola (*Cassia moschata* y *C. grandis* L.F. [Leguminosae, Caesalpinioideae]; Escobar et al. 1996, Santana et al. 1999, Murgueitio 2004, Escalante et al. 2011).
3. Árboles frutales, empleados como alimento para humanos, animales domésticos y fauna silvestre como el mango (*Mangifera indica* L., familia Anacardiaceae) y la guayaba (*Psidium guajaba* L., familia Myrtaceae; Somarriba 1985a, 1985b, Patiño 2002, Cardozo 2007).

Las densidades arbóreas dependen de las especies, edad y estructura (varían entre 25 y más de 100 árboles adultos ha⁻¹). Este sistema requiere la oferta permanente de agua de buena calidad en bebederos móviles para los animales y sal mineralizada. La periferia y las divisiones internas de los potreros se establecen con cercas vivas y el ganado se maneja con cercas o cintas eléctricas fijas o móviles (Murgueitio et al. 2013).

A diferencia de los sistemas agrícolas intensivos convencionales, los SSPi se soportan en procesos agroecológicos, no en energía fósil ni en productos de síntesis industrial. Así los arbustos sembrados en muy alta densidad (actualmente 30 mil o más ha⁻¹), que diferencian al SSPi de otros sistemas silvopastoriles, cumplen funciones de una elevada fijación de nitrógeno atmosférico, protegen el suelo de la erosión hídrica y eólica, al tiempo que evitan la compactación por el pisoteo del ganado, mejoran el reciclaje de nutrientes, en especial del fósforo (muchas veces insoluble en suelos tropicales y subtropicales), y ofrecen hábitat para organismos controladores biológicos de las plagas de los pastos, ectoparásitos del ganado y también para varios grupos funcionales de la biodiversidad como aves, pequeños mamíferos, hormigas, escarabajos estercoleros, lombrices de tierra y otros (Fajardo et al. 2010, Giraldo et al. 2011b, Murgueitio et al. 2011, Rivera et al. 2013).

Los SSPi son aceptados por los productores porque han demostrado ser capaces de incrementar la producción de carne y leche a menores costos financieros. El mayor efecto se da con el aumento en la carga animal (hasta cuatro veces superior frente al pastoreo extensivo) y en consecuencia la producción de carne y leche por hectárea por año (Solorio-Sánchez y Solorio-Sánchez 2008, Uribe et al. 2011, Murgueitio et al. 2013) con evidencias de ser productos de elevada calidad nutricional (Corral-Flores et al. 2011, Mahecha et al. 2011, Xóchitl y Solorio-Sánchez 2012). También se destacan por reducir las crisis de estacionalidad de la reproducción porque el ganado tiene mejor alimentación en épocas críticas de sequía (Molina et al. 2011, Broom et al. 2013). Los SSPi también son promovidos por alianzas entre gobiernos, organizaciones de productores e instituciones de cooperación para el desarrollo rural sustentable porque facilitan el ordenamiento del territorio ocupado por la ganadería y pueden ser una herramienta para reducir la presión por la deforestación (Xóchitl y Solorio-Sánchez 2012, Calle et al. 2013a), de la misma manera que favorecen la lucha contra el cambio climático al tener atributos para la mitigación (menores emisiones de gases y mayor captura de carbono que sistemas convencionales) y la adaptación al mismo (Ku Vera et al. 2011, Naranjo et al. 2012, Harvey et al. 2013, Montagnini et al. 2013).

1. PROCESOS AGROECOLÓGICOS QUE SUSTENTAN LA PRODUCTIVIDAD PECUARIA EN LOS SSPi

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) son una modalidad de sistema agroforestal pecuario, destinado a la producción de carne y leche así como madera, frutas y otros bienes asociados. En el SSPi interactúan en el mismo espacio y tiempo una o más especies de diferentes estratos. En el estrato herbáceo se encuentran gramíneas forrajeras nativas de América (géneros *Axonopus*, *Paspalum* y otros) o introducidas (géneros *Cynodon*, *Megathyrus*, *Brachiaria*, *Urochloa*, *Pennisetum*, *Dichanthium*, *Cenchrus*, *Bothriochloa* y otros); así como plantas leguminosas herbáceas (géneros *Desmodium*, *Centrosema*, *Calopogonium*, *Pueraria*, *Stylosanthes*, *Clitoria*, *Arachis*, *Teramnus*, *Macroptilium*, *Zornia*, *Trifolium*, *Lotus* y otros). Sigue un estrato de arbustos en alta densidad (entre 10 y hasta más de 40 mil plantas ha⁻¹) destinado al ramoneo del ganado, con especies como *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., de la familia Mimosoidae, *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, de la familia Asteraceae, o *Guazuma ulmifolia* Lam., de la familia Malvaceae. Asimismo, el sistema incluye árboles de todo tipo en la periferia y divisiones de potreros como cercas vivas; al igual que árboles dispersos o en líneas (entre 25 y 200 árboles adultos ha⁻¹) para producción de madera o frutas y palmas (Calle et al. 2012).

El SSPi es aprovechado por animales domésticos (bovinos, ovinos, búfalos, equinos y caprinos) que se benefician de una oferta abundante de forraje en un ambiente de bajo estrés calórico (Molina et al. 2011). Se manejan con cercas y cintas eléctricas mediante pastoreo rotacional, con altas cargas (entre 800 a 2000 kg de peso vivo ha⁻¹) por periodos muy cortos, de 12 a 36 horas, y largos intervalos de descanso, entre 35 hasta 50 días o más, según situaciones específicas de clima (Xóchitl y Solorio-Sánchez 2012, Murgueitio et al. 2013). Siempre en los SSPi se presta especial atención al abastecimiento permanente de agua de buena calidad para abrevadero de los animales, aplicando el principio: *el agua va al ganado, el ganado no busca el agua en el territorio*, respetando de esta manera las fuentes naturales como ríos, microcuencas, humedales y manantiales (Chará 2010, Galindo et al. 2010b, Uribe et al. 2011, Murgueitio et al. 2012a, Montagnini et al. 2013).

Al conceder la mayor importancia a procesos agroecológicos como la transformación de energía solar en biomasa, la conservación y restauración de las fuentes hídricas, la sustitución de insumos agroquímicos (reciclaje, control biológico, prácticas culturales) y el pastoreo rotacional con largo periodos de descanso del terreno, en los SSPi se cumplen los cuatro criterios claves que deben reunir las prácticas agroforestales, basadas en investigación científica (Jose 2012), de esta manera:

Intencionalidad: La combinación de árboles, cultivos y/o animales es diseñada intencionalmente, no es un resultado del azar, como pueden ser la arborización de praderas por sucesión natural espontánea o por el abandono de campos. (Solorio-Sánchez y Solorio-Sánchez 2008, Murgueitio et al. 2013a). Se recomienda una planificación predial con participación de los actores que deciden el uso y manejo del predio ganadero (Galindo et al. 2011).

Intensividad: El manejo del ganado se realiza con rotación rigurosa en el menor tiempo de cosecha posible (12-24 horas) y el mayor tiempo de descanso (35-50 días o más), siempre con oferta de agua potable, lo cual permite elevadas cargas animales y generar productos de máxima calidad (Corral-Flores et al. 2011, Mahecha et al. 2011, Molina et al. 2011). La Figura 1 ilustra la elevada producción de biomasa forrajera de gramíneas y leguminosas arbustivas, que esperan la entrada del ganado y el alto consumo que éste hace de ellas cuando se realiza la carga instantánea.

Integralidad: Para el éxito de los SSPi, los componentes técnicos de tipo zootécnico, forestal y ambiental se relacionan estrechamente entre sí, y a su vez todos están en función de la economía del productor, el entorno social, cultural y político (Xóchitl y Solorio-Sánchez 2012, Acosta et al. 2014).

Interactividad: Las personas, el suelo con sus componentes físicos, químicos y biológicos, así como los grupos de plantas (pastos, arbustos, árboles, palmas), el agua y la diversidad biológica interactúan en forma permanente (Giraldo et al. 2011a, Vallejo et al. 2012) a lo largo de los períodos de lluvias, sequía y transición climática, para una producción óptima de bienes (agrícolas, pecuarios y forestales) y de servicios ambientales (Giraldo et al. 2011, Uribe et al. 2011).



Figura 1. SSPi de 28 hectáreas (ha) subdividido en franjas de 2 ha con cerca eléctrica y bebedero móvil donde rotan 80 novillos de engorde de 350 kg promedio. Los animales ocupan durante tres días cada franja, el resto descansa. Nótese la elevada cantidad de biomasa comestible y buena sombra en la franja próxima a silvopastoreo. Finca La Luisa, Codazzi. Trópico seco de la región Caribe, en el departamento del Cesar, Colombia. Foto: Fernando Uribe T. CIPAV 2014.

2. CONVERGENCIA EN LA INVESTIGACIÓN PARA ALCANZAR LOS SSPi: ÁRBOLES Y ARBUSTOS FORRAJEROS

La mayor parte de la ganadería bovina en América tropical y subtropical se realiza sobre praderas nativas y/o mejoradas, con tendencia hacia el monocultivo. Esto confiere ventajas a los productores al contar con una dieta de bajo costo para los animales, pues se emplean mínimos insumos al tiempo que se ocupan grandes extensiones de tierra con baja inversión y escasa demanda de mano de obra comparada con la agricultura. Pero también posee desventajas dentro de las que cabe mencionar la estacionalidad en la producción forrajera, la baja calidad nutricional de las gramíneas usadas para pastoreo y una alta dependencia en fertilizantes cuando el objetivo de la producción es

maximizar el uso del suelo (Barahona et al. 2014). Es reconocido que en el trópico el forraje ofrecido a los animales no cubre sus requerimientos nutricionales, puesto que generalmente presenta altos contenidos de pared celular y bajos niveles de carbohidratos solubles, además de ser bajo en contenido de proteína (Barahona Rosales y Sánchez Pinzón 2005). Incluso la composición química de los forrajes tropicales se ve fuertemente afectada por las condiciones ambientales y por la calidad de los suelos fundamentalmente deficientes en fósforo (Leng 1990) y nitrógeno (Barahona et al. 2014).

Las gramíneas tropicales se caracterizan por su baja a mediana disponibilidad de energía (Wilkins 2000) lo cual está asociado con un alto contenido de carbohidratos estructurales, bajos contenidos de carbohidratos solubles, contenidos de proteína inferiores al 7% (Poppi y McLennan 1995) y digestibilidades menores a 55% (Barahona et al. 2014). Durante la estación seca, que va de dos a seis meses según las regiones (trópico subhúmedo hasta trópico seco) de que se trate, la disponibilidad de materia seca de estas pasturas disminuye dramáticamente. Por otra parte, los bajos niveles de proteína cruda y minerales en las gramíneas tropicales tienden a mermar rápidamente durante la estación seca. Como resultado, el ganado pierde peso y la producción de leche disminuye (NAS 1979, Barahona et al. 2014). Además, la baja digestibilidad (<50%) de los pastos tropicales, en promedio 13% menos digestibles que las gramíneas de clima templado, puede limitar la producción animal (Minson y McLeod 1970).

Por esta razón, desde hace décadas se busca a través de la investigación en especies forrajeras y sistemas de producción ganadera, modificar la oferta de componentes estratégicos de la alimentación (proteína, energía y minerales) a través del tiempo (Peters et al. 2013).

2.1 Aplicaciones de la leucaena

Uno de los SSPi más maduros como tecnología son los basados en *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, una leguminosa tropical de excelente calidad nutricional, cuya importancia reside en su carácter multipropósito, su crecimiento rápido, su facilidad de propagación y manejo por parte de los agricultores (Brewbaker 1987, Hughes 1998). Entre las mejores aplicaciones de la leucaena figura su empleo como especie forrajera, tanto para sistemas de pastoreo extensivo o intensivo, así como para sistemas de corte y acarreo para pequeños productores (Pound y Martínez 1983).

La leucaena es originaria de la península de Yucatán, en México (Brewbaker 1987, Shelton 2005) y fue usada por diferentes etnias prehispánicas, entre ellas los mayas, como fuente de alimento (semillas), construcciones y energía (tallos leñosos). El género incluye otras especies como *L. diversifolia*, *L. pallida*, *L. trichandra*, *L. collinsii* y otros, con el centro de origen que va desde México hasta Nicaragua (Zárate 1994). Durante la época colonial, los españoles la llevaron a Filipinas y desde ahí fue introducida a Indonesia, Malasia, Papúa Nueva Guinea y el sudoeste asiático (Brewbaker 1987).

En la actualidad, la leucaena se cultiva como forraje en Australia, África, México, Cuba, República Dominicana, Haití y en toda América Central. En Suramérica se investiga y produce comercialmente desde hace casi treinta años en Colombia, Venezuela, Perú, Brasil, Paraguay y Argentina. En Australia, los investigadores lograron desarrollar híbridos de leucaena y las áreas con leucaena y pastos superan las 150 mil hectáreas, y en algunos casos permanecen productivas después de 30 años (Dalzell et al. 2006, Shelton y Dalzell 2007, Shelton 2009). En América Latina se realizaron varios intentos para aplicar modelos similares al australiano a pequeña escala. En México, su potencial como especie forrajera fue estudiado hace más de 40 años (NAS 1977, Brewbaker 1987).

En Argentina, Colombia, Cuba, México y otros países la leucaena empezó a investigarse como planta forrajera en la década de los ochenta del siglo anterior, a partir de los trabajos realizados en Hawai y Australia (Shelton y Brewbaker 1994). Se evaluaron los aspectos bromatológicos, adaptativos, colecciones de germoplasmas y bancos forrajeros para consumos por corto tiempo por los animales (dos horas al día). También se hicieron adaptaciones de un sistema equivalente al desarrollado en Queensland, Australia, con callejones amplios, densidades de arbustos bajas y pastoreos de largo tiempo (Shelton 2005), pero estos sistemas no tuvieron persistencia y con el tiempo perdieron sus principales componentes por sobrepastoreo.

Con el aprendizaje de las experiencias citadas, en Colombia en los años noventa del siglo XX, se evaluaron, en empresas de productores innovadores, diseños con mayor densidad de arbustos de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, el cultivar con mayores ventajas para el ramoneo por su flexibilidad en las ramas (difícil de quebrar), elevada fijación de nitrógeno, menores contenidos de mimosina (un aminoácido tóxico), tolerancia a la sequía, alta capacidad de rebrote, aceptación total por los rumiantes y persistencia después de sembrado (Uribe et al. 2011). En el nuevo modelo la leucaena se inocula en los SSPi con bacterias fijadoras específicas (*Rhizobium*), se siembra en forma mecanizada en terrenos planos o con pendiente suave y se cultiva consociada a gramíneas tropicales escogidas por su elevada producción de biomasa y respuesta positiva al nitrógeno (Molina et al. 2011).

La aplicación a regiones secas del Caribe con vientos desecantes en la estación sin lluvias, llevó a buscar la incorporación de árboles maderables en forma de cortinas rompevientos. Para mejorar la biodiversidad de hábitats, ofrecer frutos y más confort con sombrero para el ganado, se enriqueció el diseño con árboles en un tercer y cuarto estrato de especies de árboles maderables o frutales y palmas. Además de estas innovaciones, las técnicas de manejo también se mejoraron para un pastoreo dirigido a la rotación rápida de los animales, donde éstos consumen solamente biomasa fresca y tienen acceso permanente a agua fresca, con empleo de cercas y cintas eléctricas. Se consiguieron cargas animales altas, durante periodos cortos, en un ambiente con sombra tenue, que permite el consumo inmediato de la biomasa de los arbustos y los pastos, seguido por etapas de descanso y recuperación largos (Murgueitio et al. 2011).

2.2 Especies forrajeras no leguminosas: *Tithonia diversifolia*

Dentro de aquellas especies no leguminosas con aplicaciones forrajeras para corte, acarreo y ramoneo en los SSPi se destaca el botón de oro, mirasol o girasol de monte, *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta herbácea que alcanza alturas de hasta cinco metros, la cual se distribuye naturalmente desde el centro y sur de México, hasta América Central y el norte de Suramérica, aunque en la actualidad se la encuentra en varias regiones del mundo (Maina et al. 2012, Peters et al., 2002). El botón de oro hace parte del paisaje, los jardines y los sistemas productivos de los agroecosistemas de América Central (Ríos 2002) y también el sureste de Brasil y otras regiones de la Mata Atlántica; el nordeste de Argentina, Perú, Ecuador y el Caribe, en especial en Cuba donde se le conoce con el nombre de árnica.

La especie es bien conocida por sus atributos para mejoramiento de suelos por trabajos en África. Por ejemplo en Kenia, la aplicación de abono verde de botón de oro logró mayores incrementos en las cosechas de maíz que los fertilizantes inorgánicos y su efecto en el suelo fue más durable (Ikerra et al. 2006). El conocimiento del desempeño del botón de oro para ganadería se realiza con mayor interés en América desde hace más de dos décadas, gracias a estudios realizados en varios países (Ospina y Murgueitio 2002, Peters et al. 2002). Los atributos que han llamado la atención de investigadores y

ganaderos para que *Tithonia diversifolia* sea considerada como estratégica en el ensamblaje de SSPi es su capacidad de adaptación a múltiples condiciones ambientales, como las que se encuentran en agroecosistemas subtropicales y tropicales húmedos, subhúmedos y montañosos. En zonas ecuatoriales se adapta desde el nivel del mar hasta 2500 msnm y desde 800 a 5000 mm de precipitación anual (Calle y Murgueitio 2008c). La plasticidad de *Tithonia diversifolia* también se extiende a diferentes situaciones edáficas porque puede cultivarse en suelos arenosos, francos, arcillosos y con un amplio espectro de fertilidad, aunque se resalta de manera especial su adaptación a suelos desde ácidos a muy ácidos con elevada presencia de iones de hierro o aluminio que son limitantes para el buen desempeño de *Leucaena leucocephala* (Rivera et al. 2011a, Murgueitio et al. 2012a).

La capacidad de rebrote y rápido crecimiento, el alto valor de proteína, calcio (Ca) y fósforo (P) en el follaje (hojas y tallos verdes) y su tolerancia al ramoneo y pisoteo por el ganado han favorecido los trabajos de investigación y adaptación tecnológica del botón de oro como el arbusto principal en SSPi (Mahecha et al. 2007, Pérez et al. 2009, Rivera et al. 2011b).

La Figura 2 ilustra un SSPi que combina el pasto estrella africana, *Cynodon plectostachyus*, y el botón de oro, *Tithonia diversifolia*, en pastoreo rotacional que emplea cintas eléctricas móviles para terneros de lechería en crecimiento. El agua está disponible por medio de un acueducto con mangueras enterradas y bebederos móviles.



Figura 2. SSPi de pasto estrella africana, *Cynodon plectostachyus*, y botón de oro, *Tithonia diversifolia*, en pastoreo rotacional con cintas eléctricas para terneros del sistema doble propósito iniciando el engorde. La vegetación de bosque nativo se conserva en la microcuenca. Finca La Esperanza, participante en el proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. Pereira, Colombia. Foto: Fernando Uribe. CIPAV 2014.

2.3 Otras especies multipropósito: *Guazuma ulmifolia*

Otra especie importante para los SSPi como árbol multipropósito como fuente de forraje, frutos comestibles, sombrío para el ganado, leña y carbón, es el guácimo o caulote, *Guazuma ulmifolia* Lam. de la familia Malvacea (Cordero y Boshier 2003). En la actualidad se realizan trabajos de investigación en México, Panamá y Colombia manejándolo con podas como arbusto forrajero para ramoneo y plantado en alta densidad. Este árbol crece en terrenos planos y suavemente ondulados, desde los 27° de latitud Norte en México hasta los 28° de latitud Sur en Paraguay y el norte de Argentina y también en las islas del Caribe. Se adapta a los climas cálidos, tanto húmedos como secos, del trópico y el subtrópico. Se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1200 metros de altitud en las zonas premontanas. Su rango óptimo de pluviosidad anual está entre 700 y 1500 mm. La mayor parte del área de distribución natural del guácimo se caracteriza por presentar una estación seca, con duración entre dos y siete meses.

El contenido de proteína del guácimo varía entre 13-17% en las hojas y entre 7-10% en los frutos; en las hojas jóvenes la proteína cruda varía entre 16 y 23% y en los tallos jóvenes entre 7 y 8%. Una investigación realizada en Venezuela registró un nivel de proteína bruta de 22,25%, energía bruta de 15,96 KJ por gramo de materia seca, 9,25% de cenizas y un bajo contenido de taninos en las hojas del guácimo (Calle y Murgueitio 2011). Otro trabajo llevado a cabo en la región de Muy Muy de Nicaragua, encontró mayores contenidos de fósforo y potasio bajo las copas de árboles de guácimo que en los pastos circundantes (Zapata 2010).

G. ulmifolia es importante en los SSPi porque se adapta a zonas marginales restringidas para la *L. leucocephala* como aquellas con elevado nivel freático, encharcables o sometidas a inundaciones periódicas. Los avances tecnológicos se concentran ahora en sistemas de propagación más económicos (Galindo et al. 2010a, 2010b) y en siembras directas con mecanización.

3. PRODUCTIVIDAD FORRAJERA Y ANIMAL (CARNE Y LECHE) EN LOS SSPi

3.1 Disponibilidad y calidad del forraje

El análisis de la creciente información de los SSPi demuestra la disponibilidad de forraje de calidad superior para condiciones tropicales, lo que se ve reflejado en los resultados productivos obtenidos hasta el momento. En Colombia, se ha observado que el contenido de proteína en *L. leucocephala* en SSPi es entre 2 a 3 veces mayor que en gramíneas tropicales (Gaviria et al. 2012), lo que incluso permite ventajas favorables sobre los suplementos y concentrados comerciales disponibles en la región.

El Cuadro 1 presenta la información bromatológica de dos gramíneas: el pasto estrella africana, *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg, y el pasto Tanzania, *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs var. Tanzania, ambas consociadas a *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, en los SSPi en dos regiones de bosque seco tropical (bs-T) según la clasificación basada en zonas de vida (Holdridge 1978) en Colombia. La primera corresponde al valle interandino del Cauca medio, con régimen bimodal de estaciones secas menores a cuatro meses, y la segunda en el Caribe seco en el valle del río Cesar, con estaciones secas mayores de cinco meses.

Cuadro 1. Composición bromatológica de forrajes componentes de SSPi en dos localidades de bosque seco tropical en Colombia: porcentaje de proteína cruda, fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA).

Componente	Estrella africana		Tanzania		Leucaena	
	<i>C. plectostachyus</i>		<i>M. maximus cv Tanzania</i>		<i>L. leucocephala</i>	
	Valle interandino	Caribe seco	Valle interandino	Caribe seco	Valle interandino	Caribe seco
Proteína (%)	11,6	7,56	13,0	6,77	26,7	24,3
FDN (%)	71,9	70,5	70,3	69,5	40,3	29,4
FDA (%)	43,1	44,2	44,7	48,1	30,0	23,7
Cenizas (%)	10,8	8,30	13,0	9,66	9,39	7,61

Fuente: Adaptado de Barahona et al. (2014).

El forraje de *L. leucocephala* casi triplica en proteína a las gramíneas tropicales, además tiene bajo contenido de fibra con valores máximos que no superan el 41% de fibra en detergente neutro (FDN) y de 30% de fibra en detergente ácido (FDA). En términos prácticos, el término fibra se circunscribe a la pared celular de los forrajes y el FDN representa entre el 30 y el 80% de la materia orgánica en los recursos forrajeros. Mientras que en rumiantes, los solubles celulares (materia orgánica menos FDN) son casi completamente digeribles, la degradabilidad del FDN es muy variable, principalmente debido a diferencias en composición y estructura. Un alto contenido de FDN resultará en una limitada disponibilidad de energía para los rumiantes (Buxton y Redfearn 1997). En general, la digestibilidad de los forrajes está inversamente relacionada con su contenido de fibra (Barahona et al. 2014).

Otra ventaja de los SSPi basados en *L. leucocephala* es su alta oferta de nutrientes. En los SSPi de las dos regiones de bosque seco tropical en Colombia, la producción de biomasa forrajera fue de 19,2 y 15,6 toneladas de materia seca ha⁻¹ año⁻¹ y de 3123 y 2856 kg de proteína ha⁻¹ año⁻¹ para el valle medio del río Cauca (región andina) y el valle del río Cesar (Caribe seco), respectivamente. En la consociación de gramíneas seleccionadas que responden al nitrógeno fijado por las altas densidades de leucaena establecida en líneas a distancias no superiores a dos metros (1,30 a 1,60 m lo más frecuente), se genera una oferta de biomasa que en promedio contiene 16,26% de proteína cruda, con 63,23% de FDN en el valle del río Cauca zona andina y 11,27% de proteína cruda con 59,64% de FDN para el Caribe seco en el valle del río Cesar (Gaviria et al. 2012).

La energía solar transformada en biomasa forrajera en los SSPi al ser pastoreada por el ganado durante cortos periodos con el empleo de la cerca eléctrica, permite a los productores alcanzar cargas animales que oscilan según la región y el clima, entre 2,0 y 4,5 Unidades Animales (UA de 450 kg cada una) muy superiores al pastoreo continuo en sabanas (cinco veces) o en pastos seleccionados sin fertilización (dos a tres veces) y cercanas o iguales a las que se logran con riego y fertilización de gramíneas tropicales. La producción en la estación seca es menor, pero no cae dramáticamente como en los pastos sin árboles (Calle et al. 2008a, Xóchitl y Solorio-Sánchez 2012, Broom et al. 2013).

3.2 Consumo de forraje por los animales

El consumo de forraje por los animales también ha sido un asunto de interés y análisis por los investigadores de la región. Esto se realiza para cada forraje y para el conjunto de la oferta de biomasa disponible para el animal en cada secuencia de silvopastoreo a lo largo del tiempo. El bajo contenido de fibra

en *L. leucocephala* puede implicar ventajas en lo que se refiere a consumo de materia seca por rumiantes en pastoreo. Esto sucede porque el contenido de pared celular de la planta es uno de los factores físicos de mayor efecto en el consumo de forrajes: dado que la fibra es menos soluble, toma más espacio en el tracto digestivo y su tasa de degradación en el rumen es más lenta que la de los contenidos celulares (Barahona Rosales y Sánchez Pinzón 2005).

Cuando se midió el consumo de materia seca de novillos cebuinos de alrededor de 250 kg pastoreado en un SSPi con *L. leucocephala* y pastos tropicales como estrella africana, *C. plectostachyus* y Tanzania, *M. maximus*, asociados a árboles maderables nativos jóvenes como roble morado, *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC de la familia Bignoniaceae y mónico o solera, *Cordia gerascanthus* L. de la familia Boraginaceae, los animales en SSPi tuvieron consumos equivalentes al 2,65% de su peso vivo contra sólo 2,35% de los animales pastoreando en el sistema tradicional (Barahona et al. 2014).

En el trópico seco del Pacífico, en el estado de Michoacán (México) se realizaron evaluaciones en los SSPi diferenciadas para el follaje de *L. leucocephala* y *M. maximus* establecidos en SSPi en el Valle de Tepalcatepec. Se encontró que existe mayor producción de biomasa forrajera en ranchos (estancias, fincas o haciendas) que tenían SSPi a lo largo del año en los periodos de sequía, de lluvias y en los meses fríos con influencia del invierno del hemisferio norte. Las densidades de arbustos de leucaena por hectárea variaron de un rancho a otro, pero todas fueron elevadas (rango entre 25.000 y 52.000 plantas ha⁻¹). La oferta de materia seca total durante cada pastoreo en tres ranchos con SSPi (*El Aviador*, *Los Huarinches* y *Santa Cruz*) estuvo en rangos de 3.602 a 4.791 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹ en la época seca, en tanto que esta oferta en un rancho de monocultivo de pasto estrella africana *C. plectostachyus* sin arbustos ni árboles, solo llegó a 948 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹. En la temporada de lluvias, los rangos en los ranchos con SSPi oscilaron entre 4.797 y 5.407 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹ mientras que el pastoreo tradicional en sólo pasto estrella fue de 1.200 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹ (Solorio-Sánchez et al. 2011).

Las digestibilidades observadas para materia seca, proteína cruda, FDN y FDA en bovinos de carne pastoreando en SSPi están en el rango entre intermedias a moderadamente altas en el caso de proteína, con lo que se sugiere que hay una adecuada utilización de la dieta consumida por los animales. Esto explica las mayores productividades que a menudo se reportan en animales pastoreando en SSPi, con ganancias diarias de peso de 600 a 950 gramos por animal (Gaviria et al. 2012, Naranjo et al. 2012).

3.3 Mejoras en la producción de carne y leche

Investigaciones recientes en Colombia y México encontraron resultados similares en la elevada producción de carne en silvopastoreo por unidad de superficie (800 a >1500 kg ha⁻¹ año⁻¹) sin empleo de fertilizantes en los cultivos o suplementos y anabólicos en el ganado. También estos trabajos evidencian buenos rendimientos en canal, producción de carne magra, color deseable de la grasa subcutánea para el mercado y una composición de ácidos grasos como la que desean los mercados modernos con mayor tenor de ácidos grasos poli-insaturados, por ejemplo mayor proporción de ácidos oleico y linoléico conjugado (CLA) y antioxidantes como la vitamina E (Corral-Flores et al. 2011, Corral-Flores et al. 2012, Mahecha et al. 2011). La mayoría de trabajos y experiencias se concentran en ganado bovino pero también en México y Colombia se avanza con éxito en la adaptación de los principios y el manejo de los SSPi en la producción de ovinos tropicales de pelo (pelibuey), *Ovis aries*, donde el potencial es muy alto para pequeños productores que pueden alimentar rebaños de 60 o más ovejas por cada hectárea (Uribe et al. 2013) como se ilustra en la Figura 3.

A pesar de que no se cuenta con trabajos de investigación con búfalos de río, *Bubalus bubalis*, esta especie se emplea en SSPi por parte de productores en sistemas de carne (cría), doble propósito (leche y cría) o engorde, donde estos animales tienen ventajas sobre el bovino al consumir y transformar mejor la biomasa forrajera con elevada fibra. La Figura 4 muestra un grupo de búfalos de cría empleadas para consumir los excesos de fibra en los SSPi después de que las vacas lecheras hacen la cosecha de los componentes más tiernos.



Figura 3. Ovejas de pelo (pelibuey), *Ovis aries*, en un SSPi de pasto estrella, *Cynodon plectostachyus* y botón de oro, *Tithonia diversifolia*, en la ecoregión cafetera de Colombia. Granja Tinajas, Palestina. Foto: Fernando Uribe, CIPAV 2013.



Figura 4. Búfalos de río, *Bubalus bubalis*, para cría, empleadas en SSPi y SSP en la Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca, Colombia. Foto: Claus Deblitz, Agribenchmark 2014.

Gracias a la elevada producción de biomasa en las estaciones de lluvia y a la menor reducción de la misma y de su calidad en las épocas secas, los árboles y la interacción entre pastos y leguminosas forrajeras también favorecen la producción de leche bovina en sistemas de producción de leche (Paciullo et al. 2014). Esto sucede en todo tipo de sistemas ganaderos. Así, en lechería tropical o subtropical (ordeño sin ternero, dos ordeños al día, suplementación estratégica) con animales *Bos taurus* criollos seleccionados como las razas Lucerna, el Blanco Orejinegro (BON) o el Criollo Lechero Mexicano; *Bos taurus* seleccionado en Norteamérica o Europa puros como Holstein, Pardo Suizo, Normando, Jersey, Ayrshire o cruzados con ejemplares de razas cebuínas *Bos indicus* como Gyr, Guzerat y Brahman. Igual sucede en sistemas ganaderos de doble propósito donde también se emplea el SSPi si el nivel de intensificación del sistema no es alto. Se ordeña con el ternero por lo general una vez al día y la producción de animales destetados es un ingreso importante. En ambos casos, la carga por unidad de superficie es el principal soporte de producciones de leche por hectárea a menos costo y reduciendo la caída de la producción en condiciones climáticas adversas (Rivera et al. 2011b).

A diferencia de Australia, donde la leucaena asociada a pastos no se emplea en la producción de leche, en Colombia hay empresas pecuarias productoras de leche con SSPi de 24 años de producción continua sin empleo de herbicidas ni fertilizantes. Este es el caso de la Hacienda Lucerna (Bugalagrande, Valle del Cauca) donde se tenía pasto estrella con fertilización nitrogenada ($200 \text{ kg N}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). El cambio hacia SSPi con leucaena y árboles dispersos en potrero permitió aumentar la capacidad de carga de 3,5 a 4,85 animales ha^{-1} durante todo el año y pasar de 9.000 a 16.346 litros de leche $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Molina et al. 2013), aunque en la actualidad en esta empresa y otras de Colombia y México están cerca a los 20.000 litros $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con suplementación estratégica a partir de fuentes energéticas (Xóchitl y Solorio-Sánchez 2012, Molina et al. 2013). Las Figuras 5 y 6 ilustran sistemas de producción de leche tropical con los SSPi en Colombia y México, respectivamente.



Figura 5. Vacas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un SSPi de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham y pasto estrella, *Cynodon plectostachyus*, con 9 años de funcionamiento. Con suplementación moderada, alcanza cerca de 20.000 litros de leche $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en la empresa Asturias, Quindío, Colombia. Foto: María Mercedes Murgueitio, CIPAV 2014.



Figura 6. Vacas Gyr lechero y F1 Holstein – Cebú con excelente estado corporal, en un SSPi de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham y pasto *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania con dos años de establecido en el Pacífico seco de México. Rancho Las Tinajas, Apatzingán de la Constitución, Michoacán, México. Foto: María Mercedes Murgueitio, CIPAV 2014.

Con el propósito de incrementar la eficiencia de la producción lechera bovina tropical en SSPi, se han realizado estudios recientes sobre el balance energía-proteína (Ayala-Burgos y Aguilar-Pérez 2011) y se evaluaron diversas fuentes energéticas como suplementación estratégica para maximizar el desempeño productivo de las vacas. También en otra investigación en Colombia (Reserva Natural El Hatico) se midieron tres de los más importantes indicadores metabólicos en vacas lactantes desde antes del parto. Estos indicadores fueron los ácidos grasos no esterificados (AGNE), el betahidroxibutirato (BHB) y el nitrógeno ureico en sangre (BUN). Además se hizo monitoreo de los triglicéridos y el colesterol sanguíneo y se valoró el efecto de la suplementación de dos fuentes energéticas tropicales sobre indicadores productivos y metabólicos en vacas lactantes en SSPi. Estos subproductos fueron la harina de yuca y el salvado (pulidura) de arroz. En el Cuadro 2 se presentan los valores medios hallados para los indicadores metabólicos de las vacas en producción que consumían los forrajes en el SSPi.

Cuadro 2. Valores medios para los indicadores metabólicos de vacas lactantes que consumen forrajes de los SSPi en la Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca, Colombia.

	Variable				
	AGNE ¹	BHB ²	Colesterol	Triglicéridos	BUN ³
	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l
Media	0,21	0,67	4,16	0,19	3,82
Error Estándar	0,01	0,02	0,10	0,01	0,14
P	0,0001	0,002	0,0001	0,0052	0,0001
Valor de referencia	≤ 0,4	0,48±0,29	1,6-4,96	≤0,2	2,86-6,43

¹AGNE: ácidos grasos no esterificados,

²BHB: betahidroxibutirato, ³BUN: nitrógeno ureico en sangre. Fuente: Molina et al. 2013.

La investigación en condiciones tropicales permitió evaluar el balance metabólico en vacas lecheras de la raza colombiana Lucerna, en el primer tercio de lactancia (período de mayor demanda energética), con promedio de 14 litros por vaca día⁻¹ y demostró que no hubo movilización elevada de tejido adiposo en los animales. Esto significa que tanto la dieta base como la suplementación suministrada favorecieron el balance energía-proteína para los animales. También el trabajo concluyó que las vacas se encontraban en condiciones de equilibrio metabólico y los indicadores evaluados estaban dentro de los parámetros normales, despejando así las dudas de una supuesta cantidad elevada de proteína en la dieta SSPi (Molina et al. 2013).

En la zona de vida de bosque húmedo tropical (Bh-T) en la región amazónica colombiana, se han adelantado trabajos para conocer el efecto de los sistemas SSPi con el botón de oro, *Tithonia diversifolia* en densidades de cinco mil arbustos ha⁻¹, árboles de sombrío y mezcla de pastos de los géneros *Urochloa* y *Brachiaria* (*Urochloa decumbens*, *U. brizantha* y *B. humidicola*) en la producción de la leche bovina. Se logró un incremento del 32,1% para los SSPi sobre el sistema convencional de las mismas gramíneas, sin arbustos ni árboles, en tanto que la composición de la leche bovina en los SSPi (sólidos totales y grasa) fue superior ($p < 0,05$). De igual forma, se calcularon los ingresos para los productores por venta de la leche, los cuales evidenciaron un 42,12% de incremento a favor del SSPi debido a la mayor capacidad de carga que fue de 2,71 vs. 1,84 unidades animales (UA de 450 kg de peso vivo) para SSPi y monocultivo de pastos respectivamente (Rivera et al. 2011b).

4. REHABILITACIÓN DE SUELOS EN LOS SSPi

El diseño espacial de las plantas con sombrío en toda la superficie en los SSPi resulta en una distribución de estiércol y orina relativamente homogénea sobre el suelo, así como en la reducción de la compactación del suelo, debido a la renovación rápida de las raíces de arbustos y pastos. Los árboles y arbustos en general contribuyen a mejorar las características físicas del suelo al incrementar la porosidad, permeabilidad, tamaño de agregados y estabilidad, y al disminuir la densidad aparente. También ayudan a mejorar los parámetros microclimáticos del suelo pues incrementan la capacidad de retención hidráulica, la aireación por los poros, al tiempo que reducen la temperatura en los primeros centímetros con lo que se beneficia la actividad biológica, especialmente en las áreas de influencia de árboles leguminosos. Por ejemplo, en la Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca, Colombia, donde las investigaciones aplicadas en SSPi cuentan con una crono-secuencia de 4 y 19 años, se encontró que los suelos con SSPi acumulan un mayor porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total que los potreros sin árboles (Molina et al. 2011, Uribe et al. 2011, Vallejo et al. 2012).

La cobertura vegetal, el sombrío y las condiciones microclimáticas particulares de los SSPi contribuyen a recuperar la macrofauna edáfica, la cual, durante el proceso de apareamiento y alimentación, participa directamente en el proceso de remoción de suelo lo que incrementa la aireación y la porosidad del suelo, evita la compactación y mejora la permeabilidad y la capacidad de retención del agua. Se ha logrado documentar bien el trabajo estratégico de los escarabajos estercoleros y las lombrices de tierra en los SSPi, para recuperar los servicios ambientales que se relacionan con fertilidad y mejoramiento de suelo en los sistemas productivos ganaderos (Giraldo et al. 2011a, 2011b). Otros detalles sobre aspectos relacionados con beneficios de los SSPi sobre el balance de agua en suelos, materia orgánica, y reciclaje de nutrientes son presentados por Chará et al. en este libro.

Otro proceso de innovación reciente con los SSPi y el mejor manejo del suelo se dieron con la integración entre el mismo y la fruticultura intensiva. Este es el caso del huerto limonero silvopastoril intensivo en México. Esta experiencia pionera se generó como una solución a los serios problemas del monocultivo del limón, *Citrus aurantifolia* Swingle, presente en el valle de Apatzingán, Michoacán, desde hace más de noventa años. Las prácticas inapropiadas en este cultivo como el exceso en el control (químico y mecánico) de arvenses (plantas asociadas a los cultivos, no necesariamente son malezas) y el riego con aguas profundas condujeron a la salinización de los suelos, con empobrecimiento de la biota edáfica, incremento de la vulnerabilidad a nuevas enfermedades virales transmitidas por insectos y bloques en la nutrición mineral del limón, que responde poco ahora a fertilizantes químicos (Calle et al. 2013).

Para incorporar el SSPi en el cultivo de limón, se aprovechó el espacio disponible entre los cítricos, que habían sido establecidos a una distancia de 7 x 7 m en la década de 1980. Entre los callejones de limón se sembraron 3 a 4 hileras de *L. leucocephala* cultivar Cunningham, a un metro de distancia entre hileras con pasto *M. maximus* cultivar Tanzania. Esta integración productiva ha traído beneficios considerables para el limón. Antes el huerto era fertilizado tres veces al año, con una mezcla de sulfato de amonio, urea, elementos menores y abono orgánico (compost de estiércol y micorrizas). La fertilización representaba el 30% del costo de producción y el control de plagas otro 30%. Con la introducción de la leucaena con pastos y el reciclaje de nutrientes que promueven las heces y orina del ganado, la fertilización dejó de ser necesaria, lo cual permitió eliminar por completo este costo. Adicionalmente la presencia de la leucaena contribuyó a aumentar la biodiversidad funcional del cultivo, hasta tal punto que ya no se requiere el control químico de plagas y el mismo lote produce carne con terneros de engorde (carga animal de 2,4 Unidades Animales de 450 kg) y leche con ganado criollo (raza Criollo Lechero Mexicano) en modalidad doble propósito; semilla comercializable de leucaena y miel. La producción de limón aumentó, como también la calidad del fruto en términos del tamaño y color porque se accedió a un pequeño nicho de mercado como “limón de sombra” que paga un sobrepeso de 25% dadas las características diferentes del fruto (Calle et al. 2013b). La Figura 7 ilustra el manejo actual del huerto limonero con SSPi con cosecha de forraje por el ganado criollo en forma directa.



Figura 7. Novilla de la raza Criollo Lechero Mexicano dentro del limón de sombra asociado a leucaena y pastos (SSPi con cítricos) en el Ejido de Chandio, Apatzingán, Michoacán, México. Foto: Martha Xóchitl Flores, Fundación Produce Michoacán 2014.

5. EL COMPONENTE ARBÓREO DE LOS SSPi

5.1 Selección de las especies de árboles en los SSPi

Para la selección de las especies de árboles en los SSPi en condiciones de alta luminosidad, se da prioridad a las fijadoras de nitrógeno como los árboles leguminosos que pueden abundar en el trópico seco tales como las fabáceas mezquite, algarrobo o trupillo, *Prosopis juliflora* (SW) DC, y el orejero, guanacaste, caro caro, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb (Esquivel et al. 2003, Ku Vera et al. 2011, Cordero y Boshier 2003). Dignas de destacar son las legumbres del samán o campano, *Albizia saman* o *Samanea saman* (Jacq.) Merrill, que tienen elevados contenidos de proteína cruda (las semillas molidas llegan a 29,3%) además de tener buena energía digestible (1,78 megacalorías por kilogramo de materia seca; digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 73,7%; Roncallo et al. 2003, Esquivel et al. 2003). Otro árbol que produce frutos apreciados por los animales en todo el trópico y subtropico de América es el mango, *Mangifera indica* L., de la familia Anacardiaceae, que además de alimentar a las personas y a la fauna silvestre, genera excedentes en la cosecha para los animales domésticos con buen contenido de energía en forma de azúcares (en la pulpa), almidones (en la almendra), carotenos (vitamina “A” y pigmentos), proteína y aceites (almendra). Se ha investigado diferentes formas de aprovechamiento para uso fresco o conservado, con destino a la alimentación animal (Cardozo 2007).

Pero árboles de gran porte como el samán y el orejero, o de follaje denso como el mango, cuando llegan a adultos afectan mucho el flujo de energía solar a los estratos de arbustos forrajeros, pastos y leguminosas y no se recomiendan en un número elevado por hectárea. En cambio, otras especies de pequeño porte y copa rala, con frutos comestibles, son más apropiadas. Entre ellas se destacan la guayaba, *Psidium guajaba* L., familia Myrtaceae (Somarriba 1985a, Somarriba 1985b, Calle 2003) y el grupo de especies de los “árboles de calabaza” también llamados totumo, táparo, cirián o güiro, del género *Crescentia* (familia Bignoniaceae). Entre éstos se destacan *C. cujete* en Suramérica y *C. alata* en América Central, que además de encontrarse bien estudiados se usan ampliamente por los ganaderos en la región, para alimentar a sus animales (Escobar 2002, Murgueitio 2004, Arango et al. 2009).

Los árboles en los SSPi son fuentes de madera para postes, corrales y construcciones rurales, leña y carbón vegetal o madera fina para los mercados locales de muebles y otros usos con mejor valor que la madera de pulpa con destino a la industria de celulosa. La arquitectura de la copa es un aspecto importante para la selección de los árboles. Las especies de copa abierta que permiten el paso de suficiente luz hacia el suelo como la especie endémica de la Orinoquia de Colombia, llamada falso yopo, *Mimosa trianae* Benth., de la familia Mimosaceae, se utilizan en lugar de los árboles de dosel denso, que impiden la filtración de la luz. Las especies de folíolos pequeños que se descomponen rápidamente se prefieren a las de hojas grandes y gruesas, que forman una hojarasca persistente (Calle et al. 2012).

5.2 Especies maderables en los SSPi

En los SSPi es posible combinar los beneficios a corto plazo de la producción de leche y/o carne con las inversiones a largo plazo en madera. Las especies arbóreas, el beneficio al sistema integrado con

pastos y ganado así como los factores agroecológicos determinan el tipo, volumen y calidad de la producción maderera.

Los árboles se plantan en hileras dobles o triples separadas por fajas de pastoreo de 15 a 30 metros de ancho entre las líneas de árboles. La densidad arbórea inicial en estos sistemas equivale así al 50% o menos de la de las plantaciones arbóreas homogéneas (entre 300 y 600 árboles ha^{-1} según la especie y la zona agroecológica). Con una intercepción de luz por los árboles maderables que oscila entre el 10 y el 40 por ciento, los SSPi permiten que el pastoreo se realice desde el primer año hasta la última cosecha de los árboles. El pastoreo controlado con animales pequeños (150 a 250 kg peso vivo) se permite después de cinco a ocho meses de realizarse la siembra de pastos o arbustos forrajeros; sin embargo, la entrada del ganado al interior de las hileras de árboles se restringe hasta 18 meses por medio de la instalación de un cercado eléctrico. Tras ese período, los animales tienen acceso a la totalidad de la superficie cubierta en manejo rotacional estricto (Calle et al. 2012).

En las zonas sometidas a erosión eólica, donde la vegetación arbórea fue eliminada casi totalmente por la agricultura intensiva, cuando cambian de uso hacia SSPi, los árboles de rápido crecimiento, como varias especies y cultivares de eucalipto, cumplen funciones múltiples de cortavientos al evitar, en menos de dos años, que el viento seque los pastos y los arbustos al tiempo que proveen sombra difusa, madera de las podas para autoconsumo (postes para cercas, vigas para establos y viviendas, leña y carbón vegetal) y madera para la industria en el turno final. En la Figura 8 se puede observar un SSPi en la región del Caribe de Colombia, con árboles jóvenes de eucalipto (3 años) agrupados en líneas triples cada treinta metros, que sirven de barreras contra los vientos alisios que desecan los pastos de la región del valle del río Cesar durante la época de sequía (5-6 meses). Los pastos y la leucaena en alta densidad (más de 20.000 plántulas ha^{-1}) son organizadas en franjas con las cercas eléctricas, y son silvopastoreadas por grupos de ganado durante tres días con descansos de 40 días. Siempre hay agua disponible en bebederos móviles, gracias a un sistema de almacenamiento y conducción que cubre el área de pastoreo.



Figura 8. SSPi en una zona que fue despoblada completamente de árboles por la agricultura intensiva. Las líneas triples de *Eucalyptus tereticornis* establecidos cada 30 metros sirven de cortina rompevientos durante los 5-6 meses de sequía. La leucaena y el pasto Tanzania sostienen una elevada carga animal que pastorea en franjas siempre con agua disponible. Finca La Luisa, región del Caribe seco, departamento del Cesar, Colombia. Foto: Fernando Uribe, CIPAV 2014.

La arquitectura de la copa es un aspecto importante para la selección de los árboles. Son más deseables especies de troncos rectos y copa pequeña y con poda natural, como el laurel o nogal de cafetera, *Cordia alliodora* L., que las especies de árboles muy ramificados de troncos retorcidos. No obstante, los árboles grandes fijadores de nitrógeno con semillas comestibles, tales como el samán, *Samanea saman* (Jacq.) Merr, el iguá o mazaguaro, *Albizia guachapele* (Kunth) Dugand, y el guanacaste, parota u orejero, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb (todos de la familia Fabaceae), se mantienen normalmente con densidades bajas en los SSPi (Calle et al. 2013a).

Así como en la reforestación, la introducción de nuevas especies en un SSPi conlleva riesgos. Los proyectos pueden fracasar debido a una selección equivocada de las especies porque su rendimiento en condiciones diferentes no era suficientemente conocido. No obstante, un importante acervo de conocimientos se ha ido desarrollando respecto de las especies arbóreas nativas. En algunos SSPi se combinan dos o más especies de árboles maderables nativos (Calle et al. 2013a). Se tienen experiencias y evaluaciones técnicas preliminares en diferentes agroecosistemas con árboles maderables nativos de alto valor como el móncoro, *Cordia gerascanthus* L., de la familia Boraginaceae, en el trópico bajo, y su pariente cercano endémico del Pacífico mexicano, el cueramo, *Cordia elaeagnoides* A. DC. También hay datos del roble morado o guayacán rosado, *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., de la familia Bignoniaceae, y también observaciones con árboles de maderas preciosas como la caoba, *Swietenia macrophylla* King, de la familia Meliaceae (Calle y Murgueitio 2012). La Figura 9 ilustra el desempeño inicial de árboles de caoba sembrados en franjas protegidas con cerca eléctrica, que se plantaron en forma intercalada con un árbol leguminoso nativo y endémico de la Orinoquia de Colombia, el falso yopo, *Mimosa trianae*, acompañadas de botón de oro que funciona como hospedador de insectos benéficos, reciclaje de nutrientes y forraje para el ganado.



Figura 9. Líneas de árboles nativos de 14 meses de sembrados. Se alterna un maderable de alto valor económico como la caoba, *Swietenia macrophylla*, con un árbol fijador de nitrógeno de sombra tenue como el falso yopo, *Mimosa trianae*. La línea de árboles se defiende del ganado con hilos eléctricos y se acompaña la franja con botón de oro, *Tithonia diversifolia*, para aportar nutrientes, hábitats a controladores biológicos y forraje. Reserva Natural El Hatice, Valle del Cauca, Colombia. Foto: Enrique Murgueitio, CIPAV 2014.

Este sistema, cuando integra la producción de leche o carne con la de madera ayuda a solucionar los dos problemas principales de las plantaciones forestales para los pequeños y medianos propietarios, que son la falta de flujo de caja para esperar el turno forestal principal y los elevados costos de control de gramíneas durante el establecimiento y primera etapa de la plantación forestal (Lacorte y Esquivel 2009).

El beneficio de la madera puede comenzar con raleos o entresacas entre el sexto y séptimo año, y las cosechas mayores (turno forestal final) pueden practicarse, según la especie y la zona agroecológica de que se trate, en el año 15, 18, 20 o 25. Se estima que el volumen total de madera extraída es un 30% menos al que se obtiene en plantaciones tradicionales puras, pero esta reducción se ve compensada por el mayor precio que alcanza la madera en la cosecha final. En estos sistemas, el aclareo y poda tienen por objeto maximizar los diámetros de los árboles por encima de los 30 cm (para el pino y el eucalipto al cabo de 15 a 16 años) y aumentar el volumen de la madera de alto valor en un 50% (Esquivel et al. 2010).

5.3 Especies de palmas utilizadas en SSPi

Las palmas nativas (familia Arecaceae) son uno de los grupos de plantas más abundantes y de más amplia distribución geográfica en el trópico americano. Asimismo, son una herramienta importante para promover la biodiversidad en los paisajes ganaderos porque ofrecen hábitat y recursos para la fauna silvestre sin interferir significativamente con el desarrollo de los pastos. De hecho, realizan contribuciones a la estabilidad de los suelos y al reciclaje de nutrientes a las especies asociadas de gramíneas, arbustos forrajeros y árboles (Calle y Murgueitio 2013). Varias especies de palmas como *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., *Ceroxylon quindiuense* (H. Karst.) H. Wendl., y *C. alpinum* Bonpl. ex DC., *Copernicia tectorum* (Kunth) Mart., *Mauritia flexuosa* L.f., *Roystonea regia* (Kunth) O.F. Cook, *Sabal mauritiformis* (H. Karst.) Griseb. & H. Wendl., *Syagrus sancona* H. Karst., en forma dispersa, en líneas o rodales se pueden asociar a silvopastoriles en diferentes zonas de vida. Los tallos son empleados por los productores y habitantes rurales de toda América para construcciones, vías, puentes, corrales y múltiples obras. Las hojas son un material extraordinario para amortiguar las elevadas temperaturas tropicales y se usan para techos de viviendas, edificios comunitarios, saladeros y sobre todo los techos de los establos ganaderos donde generan un ambiente fresco y confortable (Murgueitio 2004).

Los frutos de muchas palmas son ricos en azúcares fermentables, ácidos grasos (la mayoría saturados), vitamina A y proteína (endocarpio o nuez). El uso más frecuente de estos frutos es la alimentación de cerdos por su habilidad para consumir la pulpa dulce sin tragarse la semilla. Algo similar hacen los equinos y las aves de corral; sin embargo existen en toda la región experiencias positivas del uso de los frutos en bovinos, ovinos y búfalos como parte de una estrategia de alimentación para la época seca, la cual debe incluir un molido de los frutos y adición de cal (10%). El propósito del agregado de cal es que ésta ayuda a formar jabones cálcicos que, además de liberar la nuez rica en proteína y aceite, protegen a las grasas de la fermentación y ayudan a su absorción intestinal (Calle y Murgueitio 2008b).

Dos especies de palmas se destacan porque bajo su sombra tenue ya se han establecido SSPi: la palma de coco y la palma real, corozo de puerco o coyol. Asimismo, se usa el cocotero, *Cocus nucifera* L., en el Pacífico de México (SSPi con *L. leucocephala* y *M. maximus* var. Tanzania y bermudas, *Cynodon dactylon* (L.) Pers.) en los estados de Michoacán y Guerrero (Xóchitl y Solorio-Sánchez 2012). La Figura 10 ilustra un SSPi en el trópico seco del Pacífico mexicano de leucaena y pastos que fue establecido debajo de un cultivo de palmas de coco sin afectar para nada a las palmeras que siguen produciendo sus valiosos frutos y generan sombrío tenue para los animales.

La palma real, *Attalea butyracea* (Mutis ex L.f.) Wess. Boer, es utilizada en SSPi en Chiriquí, Panamá (SSPi de *T. diversifolia* y *M. maximus* var. Mombasa). Esta palma forma poblaciones abundantes en bosques secos y húmedos. Se distribuye desde el sur de México hasta Brasil, donde es común en los márgenes de ríos, sabanas naturales y pastizales ganaderos. Por lo general, crece por debajo de los 300 metros de altitud pero ocasionalmente se encuentra hasta los 1.000 msnm. La palma real se reconoce fácilmente por su gran tamaño, su belleza y longevidad, alcanzando alturas de hasta 25 metros y su tallo largo y recto de 25 a 50 centímetros de diámetro (Calle y Murgueitio 2008b).



Figura 10. Vaca de la raza Gyr ramonea arbustos de leucaena en un SSPi establecido bajo un cultivo de cocoteros, *Cocos nucifera*. Rancho El Uricho, Michoacán, México. Foto: Enrique Murgueitio, CIPAV 2012.

6. SSPi PARA EL TRÓPICO DE ALTURA

A diferencia del trópico bajo, las regiones ecuatoriales de montaña (en Colombia son 93.000 km², equivalentes al 7,9% del territorio nacional) por su clima moderado permiten el desarrollo de plantas forrajeras originadas en regiones templadas y subtropicales del mundo. Así es común el cultivo de leguminosas como la alfalfa, *Medicago sativa* L., y los tréboles o carretones (*Trifolium repens* L., *T. pratense* L.) y gramíneas como Ray Grass, *Lolium perenne* L. ssp. *multiflorum* (Lam.) Husnot (varios cultivares e híbridos), y la avena forrajera, *Avena sativa* L. También en las condiciones agroecológicas del trópico de altura las razas de ganado vacuno especializadas como Holstein, Normando, Jersey y Ayrshire descendientes del *Bos taurus* se adaptan sin los traumatismos que pueden sufrir en las tierras bajas (Murgueitio y Galindo 2008).

Por esta razón, importantes cuencas lecheras en Ecuador, Bolivia, Perú y Colombia se localizan en los altiplanos y regiones montañosas. En Colombia el piso térmico frío corresponde a zonas localizadas entre los 2.000 y 3.200 msnm, con temperaturas medias que pueden oscilar entre los 12 y 17°C. En estas regiones se localiza el 7% del hato lechero nacional que a su vez produce entre el 40 y 45% del total de leche del país (MADR 2007).

Con el cambio climático las heladas que sucedían en pocos días en el año en zonas de altiplanos se han incrementado, son más repetidas, inesperadas y con mayor diferencia en las temperaturas entre el día y la noche, ocasionando daños mayores a las plantas. La alteración de los periodos extremos de lluvias y sequía ha sido catastrófica. Así en el altiplano de Bolivia y Perú, por encima de los tres mil metros de altura, ocurren en promedio 65 días de heladas cada año pero en 2013 en la sierra sur se registraron temperaturas de 20 grados bajo cero. Estas heladas atípicas afectaron 250 provincias que ocasionaron la muerte de casi 18.000 animales entre ganado ovino y vacuno y camélidos como llamas y alpacas (Murgueitio et al. 2013b).

Los sistemas de producción ganadera en el trópico de altura son diversos pero tienen en común que se realizan en pastoreo puro con o sin riego y fertilización, así como en pastoreo con áreas destinadas al corte, acarreo y transformación en forma de ensilajes y henolajes. Es muy frecuente el empleo de suplementos, en especial los alimentos concentrados. La alimentación en condiciones de pastoreo se ha limitado al uso de pocas especies como el kikuyo, *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov., y varios cultivares comerciales de Ray Grass, *Lolium perenne* L. ssp. *multiflorum* (Lam.) Husnot, la mayoría híbridos en la actualidad. El empleo de riego y fertilizantes químicos, orgánicos o combinaciones de ambos en dosis elevadas son frecuentes (MADR 2007).

En lecherías de altiplanos, la investigación con SSPi busca el desarrollo de sistemas de producción limpia de forrajes que reduzcan el consumo de insumos costosos (concentrados, fertilizantes), disminuyan el uso de contaminantes (plaguicidas) y que incrementen la protección del suelo y la conservación del agua, la flora y la fauna. Con el uso de SSPi hay beneficios tanto ambientales como productivos, destacándose aquellos asociados con la disminución de los efectos causados por heladas y sequías, reducción de ataque de plagas a gramíneas, como el complejo de chupadores de los pastos, por ejemplo, la asociación entre la chinche del kikuyo *Collaria scenica* (Stal), ex *Collaria columbiensis* hemíptero, y el lorito verde, *Draeculacephala* sp., de la subfamilia Cicadellidae (Martínez y Barreto 1998), disminución en algunos costos de producción (menos concentrado, menos fertilizantes) y merma en la incidencia de enfermedades metabólicas asociadas con el alto consumo de alimentos concentrados.

Los SSPi para estas zonas requieren densidades menores de arbustos (1500 hasta 3000 ha⁻¹) sembrados en formas de setos asociados a árboles, tanto para sombra como para fines madereros, también en menor densidad, que pueden ir desde 25 a 50 árboles de porte medio o 200 árboles jóvenes por hectárea. Con los SSPi la producción total de biomasa comestible se incrementa alrededor de un 15%, aspecto que permite tener más animales por unidad de área. En pequeños y medianos productores lecheros se ha podido reducir los costos de producción entre 10 y 15% por efecto del menor empleo de fertilizantes en las praderas y un menor uso de alimento concentrado (Calle et al. 2009).

Las especies de arbustos que se utilizan son el botón de oro, *T. diversifolia*, hasta 2400 msnm y el tilo o sauco blanco, *Sambucus peruviana* Kunth (sin *S. nigra*), hasta 3500 msnm. Este último sobresale entre los forrajes de montaña por su elevada preferencia para ser consumido por el ganado, su resistencia a las heladas, su rápido rebrote luego de los descensos fuertes de temperatura, y su acelerada recuperación. Los setos o barreras de sauco o tilo blanco son útiles para contrarrestar los efectos del viento y promover el control biológico de las plagas que afectan a los pastos, en especial al kikuyo. Aún falta probar el comportamiento del sauco en condiciones de ramoneo por el ganado (Chamorro y Rey 2008, Murgueitio et al. 2012b).

Algunos árboles nativos pueden emplearse como acompañantes del SSPi en estas regiones de montañas ecuatoriales. El más conocido e importante es el aliso o cerezo, *Alnus acuminata* H.B.K., de la familia Betulaceae, un árbol de hasta 30 metros de altura y 50 cm de diámetro, con copa piramidal y abierta. Tiene un sistema radical amplio, con nódulos fijadores de nitrógeno gracias a la simbiosis con hongos actinomicetos del género *Frankia* que inducen la formación de nódulos en las raíces del árbol. El nitrógeno fijado por el sistema radical fertiliza el suelo y las plantas acompañantes. Esta simbiosis es la razón por la cual este árbol se destaca en el mejoramiento de suelos erosionados y en la recuperación de praderas degradadas (Calle y Murgueitio 2008b, Chamorro y Rey 2008). La producción y calidad del forraje de pasto kikuyo, *P. clandestinum*, se mejora al ser asociado con aliso por incremento del contenido de proteína, reducción de la fibra y también por tener mayor degradabilidad de la materia seca. En un trabajo de investigación realizado en los Andes centrales de Colombia, en la finca *Cien Años de Soledad* (Rionegro, Antioquia) en un sistema silvopastoril, con una densidad inicial de 625 árboles por hectárea, se estimó un ahorro de US\$503 ha⁻¹ año⁻¹ representado en la reducción de la fertilización química (Sarria et al. 2008).

Otro árbol nativo evaluado para el arreglo SSPi en regiones de altura es el arboloco, *Montanoa quadrangularis* Sch. Bip., de la familia Asteraceae, una especie productora de madera para construcción (vigas y columnas) de rápido crecimiento en bordes de bosques andinos y cercas vivas de estratos múltiples. En los altiplanos, laderas pendientes y en general en las tierras afectadas por fuertes vientos, el arboloco es útil para defender a los pastos de la deshidratación y a los suelos contra la erosión si se siembra en el estrato medio de cortinas rompevientos, asociado con setos tupidos de arbustos forrajeros como botón de oro o tilo, y a un estrato superior de árboles más altos como eucaliptos (*Eucalyptus globulus* Labill.; *E. grandis* Will. Hill ex Maiden) de la familia Myrtaceae; la acacia japonesa, *Acacia melanoxyton* R. Br., de la familia Mimosaceae; o el roble andino, *Quercus humboldtii* Bonpl., de la familia Fagaceae. La protección que ofrecen estas cortinas sobre los forrajes y cultivos es cada vez mayor en las tierras ganaderas por encima de 2500 msnm donde las heladas se presentan con una frecuencia e intensidad cada vez mayores (Calle et al. 2008, Calle y Murgueitio 2010).

Las especies arbóreas introducidas, conocidas y aceptadas por los ganaderos para el uso en cortinas rompevientos incluyen varias especies de eucaliptos (*E. grandis*, *E. globulus*), el pino candelabro o mexicano (*Pinus patula* Schlecht et Cham., Familia: Pinaceae), el ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill., Familia: Cupresaceae), y la acacia (*A. melanoxyton*), manejados con podas y raleos frecuentes (Murgueitio et al. 2012b).

7. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LOS SSPi

La productividad en el sector agropecuario, en este caso subsectores ganadero y forestal, involucra el empleo óptimo del patrimonio natural en interacción social y cultural con la inversión de capital económico en beneficio de las familias, las empresas y la sociedad (FEDEGAN-FNG 2006). A esta última se le aportan bienes alimenticios en forma de carne, lácteos y pieles, y también la provisión de servicios ecosistémicos como son los de tipo hídrico (regulación de caudales, calidad de agua), la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono, la polinización, la belleza escénica y otros (Wunder 2007).

Esta productividad se asocia con el concepto de eficiencia, pues la generación de los citados bienes y servicios debe hacerse con un costo razonable, sin desperdicio de recursos, con las condiciones de calidad que demanda el mercado y además con los requisitos de responsabilidad social y ambiental. De esta manera, la productividad ya dejó atrás su concepción primaria de generar la mayor cantidad de producto con el menor número de insumos y en el menor tiempo posible. Este es el marco en que deben realizarse los análisis económicos de los sistemas de producción y las innovaciones científicas y tecnológicas, aunque sigue siendo definitivo el análisis de rentabilidad a lo largo del tiempo (FEDEGAN-FNG 2006).

Por razones de espacio y de foco temático, este capítulo sólo se referirá a aspectos estratégicos de costos, ingresos y rentabilidad de los SSPi. En el futuro cercano, habrá mayor conocimiento sobre la contribución de los servicios ambientales y los aportes sociales de estos sistemas.

7.1 Costos generales de los sistemas ganaderos

En los sistemas agrícolas comerciales, el precio de los insumos en cada país y región tiene un efecto directo en la rentabilidad que confrontado con los precios al productor, determina en buena medida la viabilidad de los cultivos. En ganadería de pastoreo y en los sistemas de agricultura familiar, esta tendencia es menos determinante, porque en los dos casos el empleo de insumos externos es reducido, se hace uso de economías de escala con la tierra de bajo costo en la primera, o se ayuda con la fuerza laboral no siempre remunerada en el caso de las familias campesinas.

Pero en la medida en que las tierras adquieren mayor precio, casi siempre por su vecindad a núcleos de población urbana y redes viales, los sistemas ganaderos tienen que competir con usos de la tierra más rentables y se transforman en semi-intensivos o intensivos, incrementándose la productividad por unidad de superficie y unidad animal a costo de invertir más en insumos, mano de obra y energía tanto eléctrica como de origen fósil.

Los costos de un sistema ganadero se refieren al precio de los insumos y también a la forma en que son empleados el capital, la tierra y el trabajo (FEDEGAN-FNG 2006). Las investigaciones económicas en el sector pecuario emplean sistemas de monitoreo y registro de hatos de referencia o encuestas diseñadas para determinar los costos y los precios del predio, y calcular los costos variables, como la mano de obra, la sanidad animal, la reproducción y otros menos frecuentes como la suplementación del ganado, la fertilización y el riego de cultivos. Todo esto para hacer balances con los ingresos brutos de la venta de leche y/o carne para las regiones ganaderas en los diferentes países de la región. Otros trabajos profundizan en la caracterización de las empresas en función del nivel de la productividad y las prácticas de gestión (Holmann et al. 2003).

En América Latina y el Caribe coexisten todas las situaciones imaginables con el uso de la tierra y la actividad pecuaria. En esta amalgama de ocupación de tierras y sistemas de producción, se pueden encontrar el minifundio campesino, las tierras comunitarias (territorios colectivos, resguardos indígenas, reservas extractivistas, ejidos y otras formas), las tierras estatales sin estatus de protección ambiental, las tierras comerciales agroindustriales, las empresas agropecuarias familiares y los latifundios. En todos se realizan, de manera diferente, actividades ganaderas (Murgueitio 1999). Por esta razón, es esencial diferenciar el tipo de sistema de producción ganadera y su estructura de costos que variará en función de los recursos, como la tierra y sus atributos agroecológicos, el capital, los inventarios ganaderos y su nivel tecnológico.

Una buena aproximación a esta heterogeneidad la realizó el gremio ganadero de Colombia en su *Plan Estratégico 2019*, al analizar a través de encuestas de amplia cobertura y consultas de expertos, lo que denominó “canasta de insumos ganaderos” para los cinco principales sistemas de producción existentes como son: Leche (producción más especializada en climas moderados, sin presencia del ternero en el ordeño), Doble Propósito (producción de leche y carne por la cría del ternero, más en climas cálidos), Cría (vacas y terneros para carne en forma más extensiva), Levante (ganado de carne joven) y Ceba (ganado de engorde adulto). El rubro más significativo en todos los sistemas de producción es la mano de obra, en razón a la muy baja inversión en los restantes rubros como forrajes, maquinaria y equipo. En el caso de los sistemas de producción de carne, la compra de animales, considerado como un insumo, es un rubro significativo en la estructura de costos, mientras que en leche especializada la alimentación tiene un peso significativo. El estudio concluye que el incremento y calidad de la producción de carne y leche dependen radicalmente de la alimentación y ésta debe ser la mejor inversión productiva, a pesar de que la realidad de los productores no es consecuente con este principio (FEDEGAN-FNG 2006).

El Cuadro 3 resume en forma de porcentaje los ponderadores más destacados que determinan los costos de producción de los cinco sistemas de producción ganadera más importantes en Colombia, donde se evidencia que la producción de leche seguida del doble propósito tienden a mayores inversiones en alimentación, sanidad y mejoramiento genético y por lo tanto a una mayor intensificación, mientras que los sistemas de carne tienden a ser más extensivos y de baja inversión.

Cuadro 3. Ponderadores de los costos en cinco sistemas de producción ganadera en Colombia - Porcentajes (%).

Ítem	Leche	Doble Propósito	Cría	Levante	Ceba
Compra de animales	NA	NA	NA	49,2	44,7
Mano de obra	22,7	55,6	61,9	30,1	20,0
Alimentación	36,8	4,0	7,1	2,7	5,3
Sanidad	8,1	10,4	14,9	8,1	6,6
Inseminación	0,8	NA	NA	NA	NA
Forrajes (pastoreo)	11,4	7,0	6,1	4,8	7,0
Maquinaria y herramientas de trabajo	10,2	16,4	3,3	1,6	9,2
Transporte de animales	0,0	1,8	0,9	0,9	2,0
Otros	5,0	4,7	5,8	2,6	5,3

NA = No Aplica. Fuente: FEDEGAN (2006) (adaptado de PEGA 2019)

Durante varias décadas, los estudios de economía ganadera han afirmado que el tamaño del predio es determinante en la rentabilidad y competitividad de la ganadería a escala de los productores y también de los países, en especial aquéllos que tienen grandes territorios con baja población humana en América del Sur, también reconocidos como productores, consumidores y exportadores de carne (Argentina, Brasil, Uruguay). En investigaciones económicas realizadas hace una década, todavía se evidencia que el tamaño del rebaño aumenta la renta al diluir los costos de producción por unidad de leche y carne e incrementa los ingresos netos por animal, así como el retorno a la inversión de capital (Holmann et al. 2003).

Pero la producción de leche y carne no se realiza siempre en forma independiente y especializada, como en los países industrializados. En la región del neotrópico, el sistema de doble propósito desarrollado por productores medianos y pequeños, sin apoyo científico, ni políticas públicas, es el más difundido en casi todos los países, desde México hasta Brasil (Tatis y Botero 2005) y llama la atención que todavía sea el más rentable en muchas regiones, superando a la lechería intensiva por tener menores costos. La lógica de los pequeños ganaderos al ordeñar vacas (incluso sin tener genética lechera) y criar becerros al mismo tiempo es para obtener dinero de la venta de animales para pagar servicios, deudas y utilizar el dinero de la venta de leche para sobrevivir. El ganado todavía es un mecanismo de ahorro y capital (Holmann et al. 2005).

7.2 Costos de establecimiento de los SSPi

En Colombia, México, Nicaragua y Panamá los SSPi se establecen y manejan en sistemas de producción de lechería tropical, doble propósito (leche y crías) y engorde de ganado con pequeños y medianos productores (Uribe et al. 2011, Molina et al. 2011, Xóchitl y Solorio-Sánchez 2012, Barahona et al. 2014) y más recientemente en la Amazonia de Brasil (2011-14) comenzaron las primeras experiencias en los estados de Pará y Marañón, con ganaderos de carne, propietarios de grandes predios. Liderados por el Centro Brasileño de Ganadería Sostenible, tienen resultados prometedores en sus proyectos pioneros dentro del contexto de la Amazonia oriental (Alves-Cangassu et al. 2012).

La estructura de costos para el establecimiento, en todos los sistemas citados, depende de varios factores relacionados con la línea de base de cada proyecto (el estado de las áreas de forraje antes del SSPi), el área a establecerse, las condiciones biofísicas del terreno, si se asocia o no a árboles maderables en alta densidad, y el precio del jornal diario para labores de campo. Otra fuente de variación está en si se emplean protocolos de tipo agroecológico (sin agroquímicos) o convencionales, con insumos de síntesis industrial para el control de arvenses y plantas invasoras, así como una fertilización inicial. El Cuadro 4 resume las principales actividades del establecimiento de los SSPi y presenta un análisis para cada uno de los elementos o situaciones que generan mayores o menores costos en la inversión.

Cuadro 4. Principales actividades que generan costos en el establecimiento de SSPi y criterios para que éstos sean mayores o menores.

Práctica o actividad	Menor costo	Mayor costo	Observación
Análisis de suelo	Más de 20 ha, zonas homogéneas	Menos de 20 ha, zonas heterogéneas (varias muestras)	Economía de escala reduce costos
Retiro mecánico de vegetación leñosa	Áreas que inician a partir de agricultura intensiva	Áreas que inician a partir de sucesión vegetal	Se dejan siempre árboles grandes
Descompactación (subsulado) con cincelos profundos	Terrenos franco o francoarenosos, procedentes de agricultura intensiva	Terrenos arcillosos, con saturación de humedad, mucho tiempo en ganadería o sometidos al fuego	Labor esencial
Descompactación y rastrillado del terreno	Planos tractorables	Con alta pendiente (tracción animal)	Labor esencial
Surcos elevados (caballones)	Planos tractorables	Pendientes que exigen curvas de nivel, terrenos arcillosos	Evitan pérdida de semilla y plántulas
Enmiendas para acidez, bajo fósforo y otros elementos (Ca, Mg, B)	Suelos neutros o alcalinos	Suelos muy ácidos con saturación de Al y Fe	Tithonia tolera mejor la acidez
Semillas de arbustos forrajeros	Semilla sexual: Leucaena, Tithonia, Guazuma Siembra mecanizable	Material asexual (estacas), Tithonia Siembra manual	Mayor supervivencia y vigor por semillas
Pastos	Tanzania y otras especies con semillas	Estrella africana por estolones	4 o más toneladas estolones
Árboles iniciales ha⁻¹	50-250	500-600	Frutales son más costosos
Control de arvenses	Control químico específico dirigido	Control manual	Gramíneas y ciperáceas muy agresivas
Hidroretenedor para árboles	Terrenos húmedos, época lluvias en siembra	Terrenos secos, irregularidades climáticas	Humedad es esencial para supervivencia
Cercas eléctricas	Mayor de 20 ha	Menor de 20 ha	Economía de escala. Impulsores solares bajan costos
Acueducto ganadero	Mayor de 10 ha	Menor de 10 ha	Economía de escala. Molinos de viento bajan costos

Fuente: Los autores del presente capítulo.

Dada la diversidad de situaciones presentes en las regiones ganaderas de América Latina, y en atención a las diferencias mencionadas antes, no es posible ni deseable contar con una estructura de costos homogénea. Sin embargo, la evaluación de varias experiencias de proyectos de productores pequeños y medianos en Brasil, Colombia, México, Panamá y Nicaragua en los últimos cuatro años demuestra que los costos totales de establecimiento son similares entre los países (rango entre 1800 y 2700 dólares ha⁻¹) y las variaciones se dan más entre los rubros, de acuerdo con las pautas del cuadro anterior.

El Cuadro 5 presenta una estructura de referencia detallada de costos de establecimiento de un SSPi para terrenos planos mecanizables, procedentes de áreas agrícolas intensivas o terrenos abandonados con mínima densidad de árboles antes del proyecto, sin opción de riego. Los rubros principales son la adecuación del terreno, la preparación del mismo con descompactación (subsulado o cincelado profundo); el pase de rastrillo que pule los terrones (rastrillado); la elaboración de surcos elevados para colocar la semilla de leucaena en forma mecánica; la siembra de arbustos forrajeros (más de 20.000 ha⁻¹); la siembra de pastos seleccionados en mezcla de cespitosos como Tanzania (*M. maximus*) y estoloníferos como estrella africana (*C. plectostachyus*); la siembra de árboles maderables industriales como *Eucalyptus tereticornis* que se distribuyen en líneas múltiples (dobles y triples) como cortinas rompevientos; el acueducto ganadero para tener agua en todas las franjas de rotación, la cerca eléctrica con impulsor de energía solar, así como los insumos y la mano de obra hasta el primer pastoreo (entre 6 y 10 meses según la región). En los años 5 y 10 se hace raleo de los árboles maderables y la cosecha plena del turno final (100 árboles) en el año 15.

Cuadro 5. Costos de establecimiento por hectárea de SSPi con la asociación leucaena, pastos seleccionados y árboles de eucalipto para trópico seco (Colombia). Año 2014. Precios en dólares US\$.

Item	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1. Adecuación y Preparación Suelos				
Análisis químico de suelos (representativo para 20 ha)	ha	1	54	54
Preparación suelos:				
Dos pases de tractor con subsolador rígido o cincel	ha	1	82	82
Dos pases de tractor con rastra pesada	ha	1	60	60
Un pase de tractor para surcos elevados (caballones)	Pases	1	54	54
Subtotal				250
2. Insumos				
Semilla <i>L. leucocephala</i>	kg	10	10,9	109
Inóculo (<i>Rhizobium</i>) para leucaena	kg	0,5	16	8
Semilla sexual pasto Tanzania, <i>M. maximus</i> cv <i>Tanzania</i>	kg	10	27,7	217
Semilla asexual pasto estrella <i>C. plectostachyus</i>	Ton	2,5	82	204
Árboles de Eucalipto, <i>Eucalyptus tereticornis</i> , + transporte	árbol	550	0,298	163,9
Control de arvenses 1 y 2 (químico o manual)				15
Control de gramíneas en arbustos y árboles (químico o manual)				11
Hidroretenedor (hidrogel)	kg	1,1	21	23
Fertilizante edáfico para leucaena (orgánico o de síntesis)	kg			124
Fertilizante edáfico (10 - 30 -10) para eucaliptos	kg	35	1	35
Subtotal				910

Sigue

Continuación Cuadro 5.

Item	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
3. Siembra				
Siembra mecanizada leucaena	ha	1	38	38
Siembra al voleo de pasto Tanzania	Jornal	1	26,22	26
Siembra manual de pasto estrella	Jornal	16	26,22	420
Siembra manual de Eucalipto con aplicación hidrogel	Jornal	2	26,22	52
Subtotal				536
4. Control Arvenses y fertilización				
Mano obra control arvenses 1	Jornal	1	26,22	26
Mano obra control arvenses 2	Jornal	1	26,22	26
Mano obra control gramíneas	Jornal	1	26,22	26
Aplicación fertilizante foliar a la leucaena	Jornal	1,5	26,22	39
Aplicación fertilizante y boro a los eucaliptos	Jornal	0,5	26,22	13
Control manual de arvenses 2 veces (si se requiere)	Jornal	14	26,22	367
Control manual de arvenses de los eucaliptos 2 veces	Jornal	7	26,22	184
Subtotal				682
5. Cerca eléctrica				
Impulsor y equipos de cerca eléctrica m /ha	Unidad	1	136	136
Subtotal				136
6. Abrevaderos o Bebederos				
Sistema de abrevadero para ganado por ha	Bebe- dero	1	163	163
Subtotal				163
7. Asistencia técnica				
Equipo interdisciplinario	ha	5	21,8	109
Subtotal				109
Total				2.786

Fuente: Los autores del presente capítulo.

7.3 Costos de mantenimiento de los SSPi

Por el monto de las inversiones, comparado con otras opciones para incrementar la productividad ganadera, los SSPi están a mitad de camino entre la renovación de praderas y la siembra de forrajes para ensilaje como maíz o sorgo. La comparación más apropiada es con la renovación de praderas para pastoreo rotacional con cercas eléctricas, acueducto ganadero, riego y fertilización (inversión de US\$ 1.855 ha⁻¹) porque es una opción más cercana a las cargas animales y productividad en carne o en leche. En este caso, la inversión inicial de los SSPi (inversión de US\$ 2.531 ha⁻¹) es mayor en US\$ 676 ha⁻¹ pero a partir del segundo año la situación se invierte y los costos de mantenimiento son mucho menores en el SSPi (US\$ 220 ha⁻¹) que en el monocultivo de pastos (US\$ 1.270 ha⁻¹), es decir, una economía de US\$ 1.050 ha⁻¹ porque los pastos sin arbustos y sin árboles requieren fertilizantes, riego y mayor limpieza de plantas invasoras.

La Figura 11 muestra los costos totales en el establecimiento (año 1) y manejo (años 2 a 10 en suelos fértiles) de un SSPi, opción agroecológica sin químicos, comparado con monocultivo de pastos manejados con rotación, riego y fertilización en la Reserva Natural El Hatico en el Valle del Cauca (Colombia) con cifras del año 2104. En este caso la inversión inicial de establecimiento (US\$ 2.531 ha⁻¹) es menor que en el modelo presentado en la región Caribe (US\$ 2.786) porque no se incluye siembra de los 500 árboles maderables, en razón a que los terrenos ya tienen árboles en tercer estrato y no se eliminan para que sirvan de sombrío y fuente de alimentos adicionales como las legumbres de samán, *Samanea saman*, y algarrobo o mezquite, *Prosopis juliflora*. Con algunas variaciones no muy grandes, esta situación es similar a otras regiones de Colombia, Mesoamérica y Brasil.

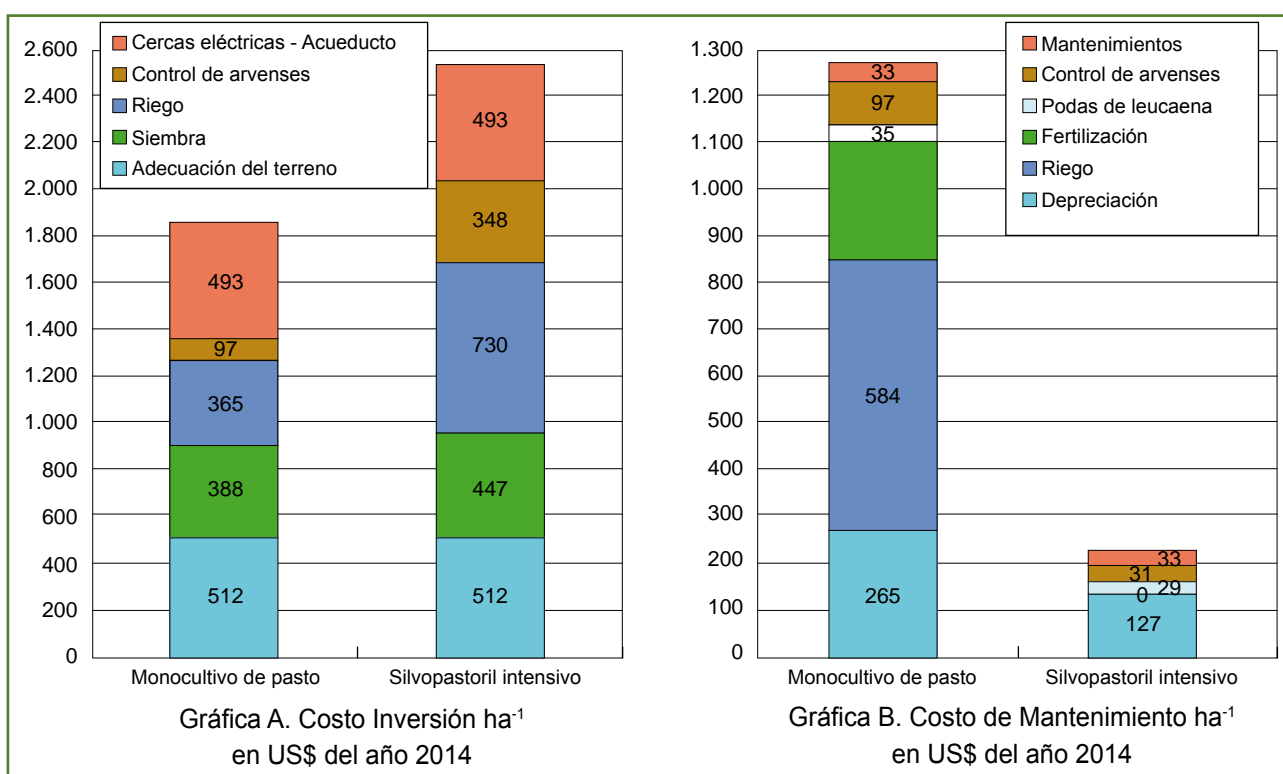


Figura 11. Costos de establecimiento o inversión (año 1; A) y mantenimiento (años 2 a 10) (B) en un SSPi de opción agroecológica y en un sistema de monocultivo de pastos con riego y fertilización. Fuente: Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca, Colombia, 2014.

La amortización de las inversiones depende en cada caso de la duración del sistema con funciones productivas plenas, lo que a su vez se relaciona directamente con el manejo y la aparición de señales de degradación de la oferta forrajera y de los suelos. En el caso de los SSPi, en Colombia se cuenta con experiencias de buen manejo que llegan actualmente a 24 años sin que haya sido necesario realizar renovación o cambio de uso de la tierra (Molina et al. 2011), lo cual coincide con información de sistemas de leucaena - pastos en Australia donde se registran duraciones cercanas a 35 años con evidencias de pérdidas sólo de algunos elementos minerales que pueden corregirse sin modificar el cambio de uso de la tierra (Dalzell et al. 2006).

Por otra parte, las pasturas sin árboles con altas cargas de pastoreo tienden a perder vigor por compactación y otros daños físicos en el suelo (reducción de la infiltración de agua, pérdida de volumen de poros, fraccionamiento de agregados) lo que favorece la invasión de plantas no forrajeras y

lleva a mermas en la producción de biomasa forrajera, con la consecuente reducción en la producción animal (Sadeghian et al. 2001). Según el tipo de suelos, la capacidad administrativa y los recursos del productor, se pueden realizar actividades de descompactación y renovación de praderas cada cierto tiempo (cada 3 a 5 años), pero en la mayoría de las situaciones el proceso es tan fuerte que se llega a la degradación de pastos o, lo que es peor, a la degradación de suelos. En ambas situaciones la renovación del sistema debe ser total (Botero 2009). Salvo excepciones de buen manejo y fertilidad natural extraordinaria, la vida útil de estos sistemas en el trópico americano oscila entre 4 y 12 años, razón por la cual la inversión inicial se deprecia en la mitad del tiempo que en los SSPi.

7.4 Producción, ingresos y rentabilidad de los SSPi

En ganadería tropical y subtropical la búsqueda y selección de forrajes capaces de elevar la producción de biomasa con más calidad nutricional es un empeño de la investigación desde hace varias décadas (Peters et al. 2013). También está demostrado que la inversión en las divisiones de pastos para una rotación más eficiente, genera una mayor productividad, e ingresos con mejor competitividad por reducción en los costos de producción por unidad de leche y carne bovina. Pero otras opciones tecnológicas que incrementan la productividad como el uso de la fertilización y el riego, pueden reducir los ingresos netos y aumentar los costos de producción (Holmann et al. 2003).

La intensificación por la vía natural con SSPi es un camino diferente, que emplea los progresos de conocimiento mencionados con los forrajes, la investigación forestal y la agroecología. Este ensamblaje, con un manejo apropiado es rentable en sistemas ganaderos de leche o carne, bien porque multiplica por tres o cuatro la producción cuando se establece a partir de tierras en degradación, o porque produce igual a menores costos que los sistemas intensivos con pastos fertilizados, riego y concentrados (Solorio-Sánchez et al. 2011, Calle et al. 2013a).

Para determinar con claridad el efecto económico de alternativas tecnológicas para el campo, se emplea el análisis de rentabilidad, que a su vez contiene implícita la utilidad del negocio porque es un método fácil de interpretar, y cuando es alimentado con datos reales es una de las mejores herramientas para la toma de decisiones (González-Pérez y Solorio-Sánchez 2012).

A continuación se presenta un ejercicio financiero, con datos reales y recientes (julio de 2014) para un proyecto SSPi de 20 hectáreas destinado al engorde de ganado en el trópico bajo seco de Colombia. Todos los supuestos de las inversiones, costos e información productiva son reales. Las dos opciones que se comparan son las que tienen los productores en la región, a partir de tierras ganaderas degradadas por la agricultura intensiva y luego por el pastoreo con alta compactación:

- a. Siembra de pastos mejorados, pastoreo rotacional, dotación de agua de abrevadero para el ganado y sal mineralizada. No existe riego de praderas ni uso de suplementos para los animales y las cargas animales, así como el incremento de peso dependen de la estacionalidad que ocasiona la sequía (5-6 meses). El ganado se compra joven y se vende gordo al mercado. La duración de los pastos hasta que se observa la degradación con caída de la productividad se da en un lapso entre 5 y 7 años, aunque en el modelo se trabajó en forma conservadora hasta 10 años.

- b. Siembra y manejo de SSPi. No existe riego ni uso de suplementos para los animales. Las cargas animales, así como el incremento de peso son elevados, a pesar de la estacionalidad que ocasiona la sequía (5-6 meses). El ganado se compra joven y se vende gordo al mercado. La duración del SSPi es de 20 años para el ejercicio, aunque en la práctica puede ser mayor. Se emplean árboles maderables organizados en forma de cortinas rompevientos (ver Figura 8). Al final se modela el efecto financiero de realizar el proyecto sin árboles maderables, sólo árboles dispersos por regeneración natural para sombrío y autoconsumo de madera.

El Cuadro 6 detalla los indicadores productivos y precios de las dos opciones. El precio de compra y venta de los animales, así como el precio por kg de carne en pie es igual para las dos opciones. En el SSPi hay mejor desempeño individual del ganado y mayor carga.

Cuadro 6. Indicadores productivos y predios de un proyecto de engorde de ganado en el Caribe seco de Colombia con dos opciones: pastos en rotación y SSPi para ceba de ganado, julio 2014. Todos los datos en dólares de USA (US\$).

INDICADORES PRODUCTIVOS Y PRECIOS			
PASTOS SIN FERTILIZACIÓN NI RIEGO		SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO	
Número de ha	20	Número de ha	20
Animales en producción ha ⁻¹	2	Animales en producción ha ⁻¹	4
Total animales en producción	40	Total animales en producción	80
Peso de venta kg promedio	450	Peso de venta kg promedio	450
Peso ingreso	210	Peso ingreso	210
Aumento diario de peso, kg	0,45	Aumento diario de peso, kg	0,75
Ciclo de ceba, días	533,3	Ciclo de ceba, días	320
Kilos vendidos ciclo ⁻¹	18000	Kilos vendidos ciclo ⁻¹	36000
Precio de venta, US\$ kg ⁻¹	1,63	Precio de venta, US\$ kg ⁻¹	1,63

Fuente: Los autores del presente capítulo.

El Cuadro 7 presenta los costos de inversión de las dos opciones. En el SSPi las inversiones en ganado se multiplican por 4 debido a la carga animal.

Cuadro 7. Costos de inversión de un proyecto de engorde de ganado en el Caribe seco de Colombia con dos opciones: pastos en rotación y SSPi, para ceba de ganado, julio 2014. Todos los datos en dólares de USA (US\$).

COSTOS DE INVERSIÓN			
PASTOS SIN FERTILIZACIÓN NI RIEGO		SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO	
Animales ha ⁻¹	1	Animales ha ⁻¹	4
Compra de terneros	\$ 7.304	Compra de terneros	\$ 29.217
Total costos variables	\$ 7.304	Total costos variables	\$ 29.217
Gastos de operación ganadería	\$ 9.081	Gastos de operación ganadería	\$ 10.407
Salarios	\$ 6.106	Salarios	\$ 6.106
Mantenimiento de praderas	\$ 1.582	Mantenimiento de praderas	\$ 1.582
Servicios públicos	\$ 272	Servicios públicos	\$ 272
		Poda leucaena	\$ 1.054
Sal mineralizada	\$ 290	Sal mineralizada	\$ 463
Sanidad	\$ 33	Sanidad	\$ 130
Mantenimiento de cercas	\$ 527	Mantenimiento de cercas	\$ 527
Insumos	\$ 272	Insumos	\$ 272

Fuente: Los autores del presente capítulo.

El Cuadro 8 presenta los productos forestales (área basal, m³ de madera) y los ingresos de los mismos. Los árboles son *Eucalyptus tereticornis* establecido en el SSPi con densidad inicial de 500 árboles ha⁻¹. Se realiza entresaca o raleos del 50% en los años 6 y 9. El turno final de cosecha es para 100 árboles a los 12 años, con destino a la industria.

Cuadro 8. Productos forestales (área basal, m³ de madera) de un proyecto de engorde (ceba) de ganado en el Caribe seco de Colombia con dos opciones: pastos en rotación y SSPi. Los árboles son *Eucalyptus tereticornis* establecido en el SSPi con densidad inicial de 500 árboles ha⁻¹ y turno final de 100 árboles a los 12 años, julio 2014. Todos los datos en dólares de USA (US\$).

	Año	% entresaca	Número de árboles ha ⁻¹	Área basal/árbol	m ³ /árbol	m ³ ha ⁻¹	\$/m ³ -1	Valor \$ ha ⁻¹
1 entresaca año	6	50	250	0,018	0,071	17,67	48,91	864
2 entresaca año	9	60	150	0,031	0,188	28,27	81,52	2.305
Corte final	12		100	0,071	0,565	56,55	135,8	7.683

Fuente: Los autores del presente capítulo.

El Cuadro 9 presenta los indicadores financieros principales tales como el ingreso bruto ha⁻¹, la Utilidad ha⁻¹ año⁻¹ y la tasa interna de retorno calculada con una tasa de interés anual del 10%, para las dos opciones, y en el SSPi con o sin productos forestales de los árboles de eucalipto para el mercado.

Cuadro 9. Indicadores financieros principales de un proyecto de engorde (ceba) de ganado en el Caribe seco de Colombia con dos opciones: pastos en rotación y SSPi con o sin productos forestales de los árboles de eucalipto para el mercado, julio 2014. Todos los datos en dólares de USA (US\$).

Sistema	Ingreso bruto ha ⁻¹ año ⁻¹	Utilidad ha ⁻¹ año ⁻¹	Tasa interna de retorno
Pastos sin fertilización ni riegos	514	(193.86)	Inviabile
SSPi con árboles maderables	3.839	1623	37,0%
SSPi sin maderables	2.935	954	32,7%

Tasa de interés empleada: 10% anual. Fuente: Los autores del presente capítulo.

La opción de pastos en rotación sin riego, fertilización, suplementos ni tampoco árboles ni arbustos forrajeros permite ingresos brutos por cada hectárea de US\$ 514, pero las utilidades son negativas (pérdida financiera) y en consecuencia no hay tasa interna de retorno. Los datos explican por qué esta actividad es realizada cada vez más sólo en grandes propiedades, donde son posibles economías de escala, en especial con la provisión de terneros para engorde, ya que el negocio es muy sensible al precio de compra de animales flacos y al precio de animales cebados. Por la misma razón, los datos explican por qué los pequeños y medianos ganaderos casi no realizan esta actividad, sino que se dedican al doble propósito y a la venta de terneros jóvenes.

El SSPi es rentable al permitir ingresos brutos elevados de US\$ 2.935 ha⁻¹ año⁻¹ cuando no hay madera y de US\$ 3.839 ha⁻¹ año⁻¹ cuando se incluye el negocio forestal en la misma área, lo que significa contar con US\$ 669 ha⁻¹ año⁻¹ de ingreso adicional, cifra muy importante para este tipo de productor.

La tasa interna de retorno (TIR) con interés anual del 10%, es elevada comparada con otras opciones de la región (32,7%) y se incrementa en 4,3% cuando hay venta de madera. En regiones con mayor desarrollo de la industria y el mercado de madera con valor agregado (muebles, láminas) este incremento sería mayor (Colcombet et al. 2009).

La información coincide con estudios realizados en el occidente de México para los SSPi con riego por gravedad, de cinco años de establecidos donde la TIR alcanzó el 33,5% contra la alternativas convencionales con TIR que oscilaron entre 12 y 18%. En estos casos analizados el periodo de recuperación de la inversión se da en 4 años, y con tasas de interés del 12% anual se da a los 5 años, lo que se considera alto para negocios de mediano y largo plazo como la ganadería y las plantaciones forestales (González-Pérez y Solorio-Sánchez 2012).

CONCLUSIONES

1. Con investigación paciente, participativa y focalizada para aplicar principios agroecológicos, es posible la reconversión productiva con sustentabilidad de la ganadería en América Latina, en especial en las regiones donde la degradación de los suelos es un proceso acelerado, o donde los pastizales son más vulnerables al cambio climático.
2. Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) son producto de una larga convergencia de trabajos científicos de diferentes partes del mundo y de innovadores productores latinoamericanos. Después de más de dos décadas, existen evidencias contundentes sobre la alta eficiencia para transformar la energía solar en biomasa vegetal y bienes de alta calidad demandados por la sociedad: carne, leche, madera, frutas, semillas y otros sin necesidad de recurrir a la energía fósil y a los productos agroquímicos.
3. Los SSPi, además de que son rentables, favorecen el ordenamiento ambiental de los predios y territorios ganaderos, ayudan al uso sustentable de la tierra y recuperan el potencial de generación de servicios ambientales de los agroecosistemas.
4. Las especies *Leucaena leucocephala* y *Tithonia diversifolia* son las mejor documentadas por la investigación en la actualidad, como componentes del estrato forrajero arbustivo de alta densidad que identifica al SSPi. *Guazuma ulmifolia* y *Sambucus peruviana* (sin. *S. nigra*) están en el foco de nuevos trabajos para consolidar sus contribuciones y limitaciones como árboles y arbustos para zonas con restricciones por exceso de humedad edáfica y bajas temperaturas, respectivamente.
5. Los géneros de gramíneas *Cynodon* y *Megathyrsus* son los más estudiados en SSPi, pero se progresa en el conocimiento de cultivares de los géneros *Urochloa*, *Brachiaria*, *Axonopus* y *Pennisetum*. En los próximos años se ampliará el espectro de conocimiento en varios agroecosistemas de la región, sobre el comportamiento de otros géneros y especies forrajeras en condiciones de consociación con árboles y arbustos en manejos rotacionales.
6. El componente de árboles y palmas de los SSPi abarca muchas especies destinadas a generar sombra para el ganado, frutos comestibles, madera para diferentes usos, retención hídrica, y protección contra los vientos y la erosión. Se conocen desempeños iniciales de varias especies nativas e introducidas, así como las pautas para el correcto manejo y criterios para la selección de especies para condiciones diversas. Las investigaciones de más largo plazo en el campo forestal son definitivas para consolidar varios modelos para diversas regiones.
7. Los SSPi son rentables al generar ingresos netos y tasas de retorno superiores a otras opciones para el uso de tierras en ganadería. Los indicadores financieros son mejores cuando se incluye el negocio forestal en la misma área. Las evaluaciones económicas y financieras de los SSPi dan un soporte estratégico para la toma de decisiones de los productores de todos los tamaños, de la misma forma que permiten identificar las situaciones que requieren intervenciones públicas, en especial para diseñar estrategias de escalamiento con incentivos, mejoras en las cadenas de comercialización y asistencia técnica especializada.
8. En el trópico bajo seco y húmedo es donde se concentra el mayor conocimiento y aplicación de los SSPi. Sin embargo, en los próximos años América Latina contará con innovaciones similares en regiones subtropicales y en las montañas ecuatoriales donde la ganadería requiere cambios urgentes hacia el manejo sustentable, la competitividad sobre bases naturales y la mitigación de los efectos del cambio en el clima global.

Agradecimientos

A COLCIENCIAS y el Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, por el apoyo al Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Convenio 0823-2013). A F. Montagnini y un evaluador anónimo por su contribución para mejorar el manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, A; Murgueitio, E; Zapata, C; Solarte, A. 2014. Establecimiento de sistemas agrosilvopastoriles institucionalmente sostenibles. *En: Acosta, A; Díaz, T. (Eds.). Lineamientos de Política para el desarrollo sostenible del sector ganadero. Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 112 p.*

Alves-Cangassu, M; Nacur-Cangassu, J; Fernandes-Sousa, L; Martins-Mauricio, R; Cezar de Macedo, A; Rocha Silveira, S; Zapata, A. 2012. Experiencias en sistemas silvopastoriles intensivos en la Amazonia oriental brasileña. Pp.59-63 *En: IV Congreso Internacional Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Morelia y Valle de Apatzingán -Tepalcatepec. Fundación Produce Michoacán, Coordinadora Nacional de Fundaciones Produce (COFUPRO), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Morelia, Michoacán, México.*

Arango, J; Bohórquez, A; Duque, M; Maass, B. 2009. Diversity of the calabash tree (*Crescentia cujete* L.) in Colombia. *Agroforestry Systems 76:543-553.*

Ayala-Burgos, A; Aguilar-Pérez, C. 2011. Balance energético/proteico para intensificar la producción animal en los sistemas silvopastoriles. III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la ganadería sostenible del siglo XXI. Morelia, Michoacán, México.

Bacab-Pérez, HM; Solorio-Sánchez, FJ. 2011. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems 13:271-278.*

Barahona Rosales, R; Sánchez Pinzón, MS. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista CORPOICA: Ciencia y Tecnología Agropecuaria 6(1):69-82.*

Barahona, R; Sánchez, MS; Murgueitio, E; Chará, J. 2014. Contribución de la *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit) a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. *En: Premio Nacional de Ganadería José Raimundo Sojo Zambrano, modalidad Investigación Científica. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 140:66-69.*

Botero, R. 2009. Estrategias para el establecimiento de pasturas mejoradas en las sabanas bien drenadas de América Tropical. Costa Rica, Universidad EARTH, Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Documento no publicado. 56 p.

Brewbaker, JL. 1987. Leucaena: A multipurpose tree genus for tropical agroforestry. Pp. 289-323 *In: Steppeler, HA; Nair, PKR. (Eds.). Agroforestry: A Decade of Development. Nairobi, Kenya, ICRAF.*

Broom, DM; Galindo, FM; Murgueitio, E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences 280:2013-2025.*

- Buxton, DR; Redfearn, DD. 1997. Plant limitations to fiber digestion and utilization. Conference: New Developments in Forage Science Contributing to Enhanced Fiber Utilization by Ruminants. Journal of Nutrition 127:814S–818S.
- Calle, Z. 2003. Sistemas Silvopastoriles con Árboles de Guayaba. Pp. 61-66 *En*: Restauración de Suelos y Vegetación Nativa: Ideas para una Ganadería Andina Sostenible. Cali, Colombia, CIPAV.
- Calle, Z; Murgueitio, E. 2008a. El aliso o cerezo: un gran aliado para la ganadería sostenible en las montañas colombianas. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 106:58-64.
- Calle, Z; Murgueitio, E. 2008b. La palma real, de vino o corozo de puerco *Attalea butyracea* (Mutis ex L. f. Wess. Boer.) Arecaceae. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán. 107:46-55.
- Calle, Z; Murgueitio, E. 2008c. El botón de oro: arbusto de gran utilidad para sistemas ganaderos de tierra caliente y de montaña. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 108:54-63.
- Calle, Z; Murgueitio, E; Cuartas, C. 2008a. Acacia forrajera *Leucaena leucocephala*: intensificación ganadera por la vía natural. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 105:80-86.
- Calle, Z; Giraldo, E; Giraldo, JA. 2008b. Aplicaciones del arboloco *Montanoa quadrangularis* Sch. Bip. (Asteraceae) para la restauración ecológica de tierras andinas. Pp. 95 - 102 *En*: Barrera-Cataño, JI; Aguilar-Garavito, M; Rondón-Camacho, DC. (Eds.). Experiencias de Restauración Ecológica en Colombia: entre la sucesión y los disturbios. Bogotá, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana. 274 p.
- Calle, Z.; Naranjo, JF; Murgueitio, E. 2009. El tilo: puerta de entrada a los silvopastoriles en el trópico alto. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 110:118-128.
- Calle, Z; Murgueitio, E. 2010. El arboloco: un árbol extraordinario para los sistemas ganaderos de los Andes tropicales. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 120:70-77.
- Calle, Z; Murgueitio, E. 2011. El guácimo: uno de los árboles más adaptables a los sistemas silvopastoriles del trópico americano. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 121:88-94.
- Calle, Z; Murgueitio, E. 2012. La caoba: inversión para sistemas silvopastoriles de tierra caliente. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 130:86-99.
- Calle, Z; Murgueitio, E; Chará, J. 2012. Integrating forestry, sustainable cattle-ranching and landscape restoration. Rome, Italy, FAO, Unasylva 63(239):31-40.
- Calle, Z; Murgueitio, E. 2013. La palma zancona y su contribución a la belleza de los paisajes. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 138:54-60.
- Calle, Z; Murgueitio, E; Chará, J; Molina, CH; Zuluaga, AF; Calle, A. 2013a. A Strategy for Scaling-Up Intensive Silvopastoral Systems in Colombia. Journal of Sustainable Forestry 32(7):677-693.
- Calle, Z; Xóchitl, M; Murgueitio, E. 2013b. El huerto limonero silvopastoril intensivo, innovación para los productores de cítricos y ganado. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 135:56-61.
- Cardozo, A. 2007. Los Frutos de Árboles Forrajeros en la Alimentación Animal. II Seminario Nacional de Investigación Agroforestal en Venezuela. Publicación digital. San Javier, Yaracuy, Venezuela, Memoria digital, Fundación Polar.
- Chamorro, D; Rey, AM. 2008. El componente arbóreo como dinamizador del sistema de producción de leche en el trópico alto colombiano. Experiencias de Corpoica – Tibaitatá. Pp. 349-397 *En*: Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, JF. (Eds.). Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo. Cali, Colombia, CIPAV. 490 p.

Chará, JD. 2010. Impacto de los sistemas silvopastoriles en la calidad del agua. *In*: Ibrahim, M; Murgueitio, E. Proceedings, VI Congreso Latinoamericano Agroforestería para la Producción Agropecuaria Sostenible [Panamá, Panamá, 28-30 sept. 2010]. 160 p.

Chará, J; Camargo, JC; Calle, Z; Bueno, L; Murgueitio, E; Arias, L; Dossman, M; Molina, CH. Servicios ambientales de Sistemas Silvopastoriles Intensivos: mejora en propiedades del suelo y restauración ecológica. Este volumen.

Colcombet, L; Pachas, N; Carvallo, A. 2009. Evolución de sistemas silvopastoriles de *Pinus elliottii* – *Brachiaria brizantha* y *Penisetum purpureum* en predios de pequeños productores en el NE de Misiones, Argentina. Actas, 1º Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. [Posadas, Misiones, Argentina, 14-16 mayo 2009]. p. 239-245.

Cordero, J; Boshier, DH. 2003. Árboles de Centroamérica. Un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1080 p.

Corral-Flores, G; Rodríguez-Echavarría, ME; Solorio-Sánchez, B; Alarcón-Rojo, AD; Grado-Ahuir, JA; Rodríguez-Muela, C; Cortés-Palacios, L; Segovia-Beltrán, VE; Solorio-Sánchez, FJ. 2012. Calidad de la carne de bovinos engordados en un sistema silvopastoril intensivo en dos épocas del año. *En*: Memorias, IV Congreso Internacional Sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos en la Ganadería con Ciencia [Morelia, México, 21-23 mar. 2012]. p. 113-122.

Corral-Flores, G; Solorio-Sánchez, B; Rodríguez, C; Ramírez, J. 2011 La calidad de la carne producida en el sistema silvopastoril intensivo y su diferenciación en el mercado. Memorias, III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, para la ganadería sostenible del siglo XXI [Morelia y Tepalcatepec, México, 2-4 mar. 2011].

Dalzell, SA; Shelton, HM; Mullen, BF; Larsen, PH; McLaughlin, KG. 2006. Leucaena: a guide to establishment and management. Sydney, Australia, Meat and Livestock Australia Ltd. 70 p.

Escalante, E; Guerra, A; Martínez, R; Piñuela, A. 2011. The Multispecies Agroforestry System of the Danac Foundation in Tropical Dry Forest landscapes of Yaracuy, Venezuela (a Case Study). Pp 69-81 *In*: Montagnini, F; Francesconi, W; Rossi, E. (Eds). Agroforestry as a tool for landscape restoration. New York, Nova Science Publishers. 201 p.

Escobar, A; Romero, E; Ojeda, A. 1996. *Gliricidia sepium*. El Matarratón, árbol multipropósito. Caracas, Venezuela, Fundación Polar, Universidad Central de Venezuela. 78 p.

Escobar, A. 2002. Taparas y totumas de América tropical *En*: Reyes, P. (Ed.). Fruto de fantasía. Fundación Polar. Venezuela. 30 p.

Esquivel, H; Ibrahim, M; Harvey, C; Villanueva, C; Benjamin, T; Sinclair, F. 2003. Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 10(39-40):24-29.

Esquivel, J; Lacorte, S; Goldfarb, C; Fassola, H; Colcombet, L; Pachas N. 2010. Sistemas silvopastoriles con especies maderables en la República de Argentina (en línea) *En*: Ibrahim, M; Murgueitio, E. (Eds.). Actas, VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible [Panamá, Panamá, 28-30 sept. 2010]. Disponible *En*: http://www.cipav.org.co/red_de_agro/Panama2010.html

Fajardo, D; Johnston, R; Neira, L; Chará, J; Murgueitio E. 2010. Influencia de los sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja, Colombia. Recursos Naturales y Ambiente 58:9-16.

96 FEDEGAN-FNG (Federación Colombiana de Ganaderos). 2006. Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019. 296 p.

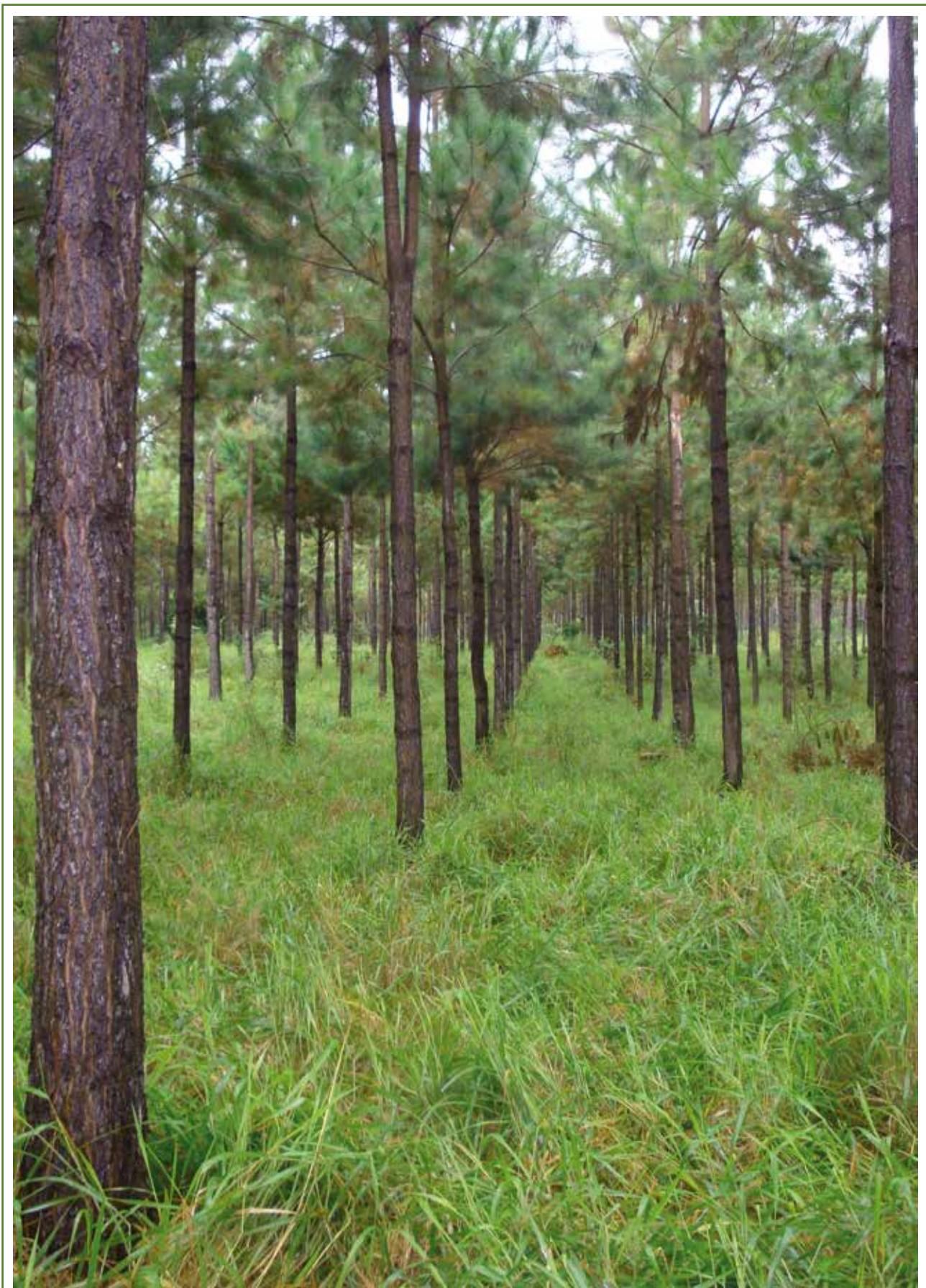
- Galindo, W; Naranjo, JF; Murgueitio, M; Galindo, VA; Tatis, R. 2010a. Producción de carne bovina con sistemas silvopastoriles intensivos basados en *Guazuma ulmifolia* y otras especies en la región del Caribe seco de Colombia (en línea). In: Ibrahim, M; Murgueitio, E. (Eds.). Actas, VI Congreso Latinoamericano Agroforestería para la Producción Agropecuaria Sostenible [Panamá, Panamá, 28-30 sept. 2010]. Disponible En: http://www.cipav.org.co/red_de_agro/Panama2010.html
- Galindo, WF; Galindo, VA; Blanco, CA. 2010b. El guácimo en sistemas silvopastoriles en Sucre. Bogotá, Colombia, Revista Carta Fedegán 121:96-99.
- Galindo, V; Uribe, F; Zapata, A; Solarte, L; Murgueitio, E; Zapata, P; Osorio, C; Ayala, O. 2011. Planificación predial participativa. Plan de mejoramiento ganadero. Proyecto Asistegán Ola Invernal 2010-2011. Bogotá, Colombia, FEDEGAN.
- Gaviria, X; Sossa, CP; Montoya, C; Chará, J; Lopera, JJ; Córdoba, CP; Barahona, R. 2012. Producción de Carne Bovina en Sistemas Silvopastoriles Intensivos en el Trópico Bajo Colombiano En: Rogerio Martins (Ed.). Memorias, VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroforestales para la Producción Animal Sostenible [Belén, Pará, Brasil, nov. 2012]. Versión digital.
- Giraldo, C; Escobar, F; Chará, J; Calle, Z. 2011a. The adoption of silvopastoral systems promotes recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. Insect Conservation and Diversity 4(2):115-122.
- Giraldo, C; Reyes, LK; Molina, J. 2011b. Manejo integrado de artrópodos y parásitos en Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Manual 2, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. Bogotá, Colombia, GEF, Banco Mundial, FEDEGAN, CIPAV, Fondo Acción, TNC. 51 p.
- Giraldo, L; Chará, J; Zúñiga, MC; Pedraza, G; Chará-Serna, A. 2011. Efectos de los corredores ribereños sobre características bióticas y abióticas de quebradas ganaderas en la cuenca del río La Vieja, Colombia En: Vargas-Ríos, O; Reyes, SP. (Eds.). La restauración ecológica en la práctica: Memorias, I Congreso Colombiana de Restauración ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.
- González-Pérez, JM; Solorio-Sánchez, B. 2012. Indicadores sociales y económicos de los SSPI del valle de Tepalcatepec, Michoacán, México, cinco años de madurez. Pp. 209-217 En: Memorias, IV Congreso Internacional sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Morelia, Michoacán, México, Fundación Produce Michoacán, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Harvey, C; Chacón, M; Donatti, C; Garen, E; Hannah, L; Andrade, A; Bede, L; Brown, D; Calle, A; Chará, J; Clement, C; Gray, E; Hoang, M; Minang, P; Rodríguez, A; Seeberg-Elverfeldt, C; Semroc, B; Shames, S; Smukler, S; Somarriba, E; Torquebiau, E; van Etten, J; Wollenberg, E. 2013. Climate-smart Landscapes: Opportunities and Challenges for Integrating Adaptation and Mitigation in Tropical Agriculture. Conservation Letters 7(2):77-90.
- Holmann, F; Rivas, L; Carulla, J; Rivera, B; Giraldo, LA; Guzman, S; Martinez, M; Medina, A; Farrow, A. 2003. Evolution of Milk Production Systems in Tropical Latin America and its interrelationship with Markets: An Analysis of the Colombian Case (en línea). Livestock Research for Rural Development 15(9). Disponible En: <http://www.lrrd.org/lrrd15/9/holm159.htm>
- Holmann, F; Rivas, L; Urbina, N; Rivera, B; Giraldo, LA; Guzman, S; Martinez, M; Medina, A; Ramirez, G. 2005. The role of livestock in poverty alleviation: An analysis of Colombia (en línea). Livestock Research for Rural Development 17(1). Disponible En: <http://www.lrrd.org/lrrd17/1/holm17011.htm>
- Holdridge, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Serie de libros y materiales educativos. No. 34.
- Hughes, CE. 1998. Leucaena: A Genetic Resources Handbook. Tropical Forestry Paper 37. Oxford, UK, Oxford Forestry Institute. 274 p.

- Ikerra, SI; Semu, E; Mrema, J. 2006. Combining *Tithonia diversifolia* and minjingu phosphate rock for improvement of P availability and maize grain yields on a chromic acrisol in Morogoro, Tanzania. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76(2-3):249-260.
- Jose, S. 2012. Designing sustainable silvopastoral systems: from resource availability to management interventions *En: Arrquy, J; Ledesma, R; Roldán, B; Gómez, A. (Eds.). Actas, 2° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria (INTA). 470 p.*
- Ku Vera, JC; Ruiz, GA; Albores, MS; Briceño, PE; Espinoza, HJC; Ruiz, RN; Contreras, HLM; Ayala, BAJ; Ramírez, AL. 2011. Alimentación de rumiantes en sistemas silvopastoriles intensivos: Avances de investigación básica. Memorias, 3° Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la ganadería sostenible del siglo XXI. [Morelia, Michoacán, México, 2-4 mar. 2011]. p. 8-16.
- Lacorte, SM; Esquivel, JI. 2009. Sistemas silvopastoriles en la Mesopotamia argentina, reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción *En: Peri, P. (Ed.). Memorias, 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Argentina, INTA. p. 70-82.*
- Leng, RA. 1990. Factors affecting the utilization of "poor-quality" forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrition Research Review* 3(1):277-303.
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2007. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico de la cadena láctea colombiana. Bogotá, Colombia.
- Mahecha, L; Escobar, JP; Suárez, JF; Restrepo, LF. 2007. *Tithonia diversifolia* (Helmsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú) (en línea). *Livestock Research for Rural Development* 19(2):1-6. Disponible *En: http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm*
- Mahecha, L; Murgueitio, M; Angulo, J; Olivera, M; Zapata, A; Cuartas, C; Naranjo, J; Murgueitio, E. 2011. Desempeño animal y características de la canal de dos grupos raciales de bovinos doble propósito pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 24(3):470.
- Maina, I; Abdulrazak, S; Muleke, C; Fujihara, T. 2012. Potential nutritive value of various parts of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) as source of feed for ruminants in Kenya. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 10(2):632-635.
- Martínez, E; Barreto, N. 1998. La Chinche de los Pastos *Collaria columbiensis* en la sabana de Bogotá. Bogotá, Colombia, CORPOICA. 36 p.
- Minson, DJ; McLeod, MN. 1970. The digestibility of temperate and tropical legumes *In: Norman, MJT. (Ed.). Proceedings, XI International Grasslands Congress. [Surfer's Paradise, Queensland, Australia, 13-23 abr. 1970].*
- Molina, CH; Molina, EJ; Giraldo, C; Calle, Z; Murgueitio, E. 2011. Resiliencia de los sistemas silvopastoriles intensivos a los efectos de cambio climático en el Valle del Cauca, Colombia. Memorias, 3° Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la ganadería sostenible del siglo XXI. [Morelia, Michoacán, México, 2-4 mar. 2011]. p. 208-214.
- Molina, JJ; Ceballos, A; Murgueitio, E; Campos, R; Rosero, R; Molina, EJ; Molina, CH; Suárez, JF. 2013. Suplementación energética: clave para vacas en SSPi. Bogotá, Colombia, *Revista Carta Fedegán* 138:20-26.
- Montagnini, F. 2011. Restoration of degraded pastures using agrosilvopastoral systems with native trees in the Neotropics. Pp. 55-68. *In: Montagnini, F; Francesconi W; Rossi, E. (Eds.). Agroforestry as a tool for landscape restoration. New York, Nova Science Publishers.*
- Montagnini, F; Ibrahim, I; Murgueitio, E. 2013. Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. *Bois et Forêts des Tropiques* 316(2):3-16.

- Murgueitio, E. 1999. Reconversión ambiental y social de la ganadería bovina en Colombia. *Revista Mundial de Zootecnia* 93(2):2-15.
- Murgueitio, E. 2004. Silvopastoral systems in the neotropics *In*: Mosquera-Losada, RM; Rigueiro-Rodríguez, A; McAdam, J. (Eds.). *Silvopastoralism and sustainable land management: Proceedings of an International Congress on Silvopastoralism and Sustainable Management*. [Lugo, Spain, abr. 2004].
- Murgueitio, E; Galindo, W. 2008. Reconversión Ambiental de Fincas Ganaderas en los Andes Centrales de Colombia. Pp. 67-86 *En*: Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, J. (Eds.). *Ganadería del Futuro: Investigación para el desarrollo*. Cali, Colombia, CIPAV.
- Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261:1654-1663.
- Murgueitio, E; Chará, J; Barahona, R; Cuartas, C; Naranjo, J. 2012a. Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático *En*: Actas, IV Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos. [Morelia y Tepalcatepec, México, 21-23 mar. 2012]
- Murgueitio, E; Zuluaga, AF; Galindo, W; Uribe F; Rivera, JE. 2012b. Los sistemas silvopastoriles (SSPi) en el trópico de altura son una herramienta para la adaptación de la lechería al cambio climático. *Revista Infortambo Andina*. ene. 2013. p 58- 61.
- Murgueitio, E; Chará, D; Solarte, A; Uribe, F; Zapata, C; Rivera, JE. 2013a. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. Universidad de Antioquia, Colombia, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias (RCCP)* 26:313-316.
- Murgueitio, E; Chará, D; Uribe, F; Galindo, W. 2013b. Los Sistemas Silvopastoriles en regiones con heladas. Experiencias en Colombia *En*: Memorias, 1° Simpósio Internacional de Arborização de Pastagens em Regiões Subtropicais. [Curitiba, Paraná, Brasil, 8-10 oct. 2013].
- Naranjo, JF; Cuartas, CA; Murgueitio, E; Chará, J; Barahona, R. 2012. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia (en línea). *Livestock Research for Rural Development* 24(8). Disponible *En*: <http://www.lrrd.org/lrrd24/8/nara24150.htm>
- NAS (National Academy of Sciences). 1977. *Leucaena: Promising Forage and Tree Crop for the Tropics*. Washington, DC, USA.
- NAS. 1979. *Tropical legumes: Resources for the future*. Washington, DC, USA.
- Ospina, S; Murgueitio, E. (Eds.). 2002. Tres especies vegetales promisorias: Nacedero *Trichanthera gigantea* (H. & B.) Nees. Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray, y bore *Alocasia macrorrhiza* (Linneo.) Schott. S. Cali, Colombia, CIPAV.
- Paciullo, DSC; Pires, MFA; Aroeira, LJM; Morenz, MJF; Maurício, RM; Gomide, CA; Silveira, SR. 2014. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal* 8(8):1264-1271.
- Patiño, VM. 2002. Historia y distribución de los Frutales Nativos del Neotrópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Asociación Hortofrutícola de Colombia (ASOHOFRUCOL), Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. Publicación CIAT 326. Cali, Colombia. 655 p.
- Pérez, A; Montejó, I; Iglesias, J; López, O; Martín, G; García, D; Milián, Y; Hernández, A. 2009. *Tithonia diversifolia* (Helms.) A. Gray (en línea). *Revista Pastos y Forrajes* 32(1):1-15. Disponible *En*: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269119696001>

- Peters, M; Franco, LH; Schmidt, A; Hincapié, B. 2002. Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores de Centroamérica. CIAT, German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GTZ). 113 p.
- Peters, M; Herrero, M; Fisher, M; Erb, K; Rao, I; Subbarao, G; Castro, A; Arango, J; Chará, J; Murgueitio, E; van der Hoek, R; Läderach, P; Hyman, G; Tapasco, J; Strassburg, B; Paul, B; Rincón, A; Schultze-Kraft, R; Fonte, S; Searchinger, T. 2013. Challenges and opportunities for improving eco-efficiency of tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales* 1:156-167.
- Poppi, DP; McLennan, SR. 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science* 73(1):278-90.
- Pound, B; Martínez Cairo, L. 1983. *Leucaena*: Its cultivation and use. London, UK, Overseas Development Administration.
- Ríos, CI. 2002. Guía para el cultivo y aprovechamiento del botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. Bogotá, Colombia, Convenio Andrés Bello. 40 p.
- Rivera, JE; Naranjo, JF; Arenas, FA; Cuartas, C; Murgueitio, E; Mauricio, R. 2011a. Evaluación nutricional de algunos forrajes arbustivos y dietas ofrecidas en lecherías de trópico de altura en Colombia con el empleo de la técnica *in vitro* de producción de gas. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 24(3):526.
- Rivera, JE; Arenas, FA; Cuartas, C; Hurtado, E; Naranjo, JF; Murgueitio, E; Tafur, O; Zambrano, F; Gacharná, N. 2011b. Producción y calidad de leche bovina en un sistema de pastoreo en monocultivo y un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) compuesto de *Tithonia diversifolia* bajo ramoneo directo, *Brachiaria* spp; árboles maderables en el piedemonte amazónico. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 24(3):524.
- Rivera, L; Armbrecht, I; Calle, Z. 2013. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181:188-194.
- Roncallo, B; Navas, A; Caribella, A. 2003. Potencial de los frutos de plantas nativas en la alimentación de rumiantes. Pp. 231-244 *En: Silvopastoreo: alternativa para mejorar la sostenibilidad y competitividad de la ganadería colombiana. Compilación de las Memorias de dos seminarios internacionales sobre sistemas silvopastoriles. Uribe, CA. (Compilador). Bogotá, Colombia, CORPOICA.*
- Sadeghian, S; Murgueitio, E; Mejía, C; Rivera, JM. 2001. Ordenamiento ambiental y reglamentación del uso y manejo del suelo en la zona cafetera. Pp 96-108 *En: Suelos del eje cafetero. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, GTZ, Fondo Editorial del Departamento de Risaralda.*
- Santana, MO; Valencia, JD; Díaz, CA. 1999. Evaluación de tres sistemas silvopastoriles de cañafístula *Cassia grandis*, guayaba *Psidium guajava* y guayaba-cañafístula con *Brachiaria humidicola* en el Bajo Cauca. Informe técnico CORPOICA. Bogotá, Colombia, CORPOICA, Universidad Nacional de Colombia, Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PRO-NATTA). 80 p.
- Sarria, P; Builes, A; Gómez, C; Murgueitio, E. 2008. Evaluación de la producción y calidad de kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov Poaceae asociado con árboles de aliso *Alnus acuminata* Kunth Betulaceae en la zona de vida del bosque muy húmedo montano bajo (bmh- MB) *En: Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, J. (Eds.). Ganadería del Futuro: Investigación para el Desarrollo. Cali, Colombia, CIPAV. 490 p.*
- 100 Shelton, HM; Brewbaker, JL. 1994. *Leucaena leucocephala* the most widely used forage tree legume (en línea). Pp. 215-29 *In: Gutteridge, RC; Shelton, HM. (Eds.). Forage tree legumes in tropical agriculture. Wallingford, UK, CAB International. Disponible En: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/Gutt-shel/x5556e00.htm#Contents>*

- Shelton, HM. 2005. Forage tree legume perspectives. Pp. 81-108. *In*: Reynolds, SG; Frame, J. (Eds.). Grasslands: Developments, Opportunities, Perspectives. Enfield, NH, USA, Science Publishers.
- Shelton, M; Dalzell, S. 2007. Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. *Tropical Grasslands* 41:174-190.
- Shelton, M. 2009. Feeding Leucaena to ruminant livestock: the Australian experience *In*: Actas, II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, en camino hacia núcleos de ganadería y bosques. [Morelia, Michoacán, México, 2-5 nov. 2009].
- Solorio-Sánchez, B; Solorio-Sánchez, FJ. 2008. Manual de manejo agronómico de *Leucaena leucocephala*. Morelia, Michoacán, Fundación Produce Michoacán. 44 p.
- Solorio-Sánchez, FJ; Bacab-Pérez, HM; Ramírez-Avilés, L. 2011. Sistemas Silvopastoriles Intensivos: Investigación en el Valle de Tepalcatepec, Michoacán. Pp. 7-15 *En*: Xóchitl-Flores, M; Solorio-Sánchez, B. (Eds.). Establecimiento de Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la producción de leche y carne en el trópico de México. Primera etapa del proyecto estratégico de prioridad nacional. Morelia, Michoacán, SAGARPA, Fundación Produce Michoacán, COFUPRO, UADY.
- Somarriba, E. 1985a. Árboles de guayaba *Psidium guajava* L. en pastizales. I. Producción de fruta y potencial de dispersión de semillas. *Turrialba* 35(3):289-295.
- Somarriba, E. 1985b. Árboles de guayaba *Psidium guajava* L. en pastizales. II. Consumo de fruta y dispersión de semillas. *Turrialba* 35(4):329-332.
- Tatis, R; Botero, LM. 2005. Génesis y consolidación del sistema doble propósito. Tatis, R; Botero, LM. (Eds.). Bogotá, Colombia, Editorial Produmedios. 282 p.
- Uribe, F; Zuluaga, AF; Valencia, L; Murgueitio, E; Zapata, A; Solarte, L. 2011. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1. Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible (en línea). Bogotá, Colombia, GEF, The World Bank, FEDEGAN, CIPAV, Fondo Acción, TNC. 78 p. Disponible *En*: <http://www.cipav.org.co/pdf/1.Establecimiento.y.manejo.de.SSP.pdf>
- Uribe, P; Castaño, K; Murgueitio, E; Uribe, F; Xóchitl, M; Valencia, L; Molina, EJ; Molina, CH; Molina, JJ; Suarez, JF. 2013. Sistemas silvopastoriles intensivos para producir carne ovina. *Revista de Carne* 5(sept. 2013):56-59.
- Vallejo, VE; Arbeli, Z; Terán, W; Lorenz, N; Dick, RP; Roldan, F. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 150:139-148.
- Wilkins, RJ. 2000. Forages and their Role in Animal Systems. Pp. 1-14 *In*: Givens, DI; Owen, E; Axford, RFE; Omed, HD. (Eds.). Forage Evaluation in Ruminant Nutrition Wallingford, UK, CAB International.
- Wunder, S. 2007. The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. *Conservation Biology* 21(1):48-58.
- Xóchitl, M; Solorio-Sánchez, B. (Eds.). 2012. Ganadería Sustentable. *En*: 2a Etapa del Proyecto Estratégico de Prioridad Nacional "Desarrollo y Fomento de los Sistemas Silvopastoriles Intensivos como alternativa alimenticia para la producción de carne y leche en regiones tropicales. Michoacán, México, Fundación Produce Michoacán, SAGARPA, COFUPRO, UADY. 215 p.
- Zapata, PC. 2010. Efecto del guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carao (*Cassia grandis*) y roble (*Tabebuia rosea*) sobre la productividad primaria neta aérea y composición florística de pasturas naturales en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Zárate, SP. 1994. Revisión del género *Leucaena* en México. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 65(2):83-162.



Capítulo 5

LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LAS PROVINCIAS DE MISIONES Y CORRIENTES, ARGENTINA

Luis Colcombet^{1*}, Jorge I. Esquivel², Hugo E. Fassola¹, María Cristina Goldfarb³, Santiago M. Lacorte², Nahuel Pachas¹, Belén Rossner⁴, Rosa A. Winck¹

¹INTA-EEA Montecarlo, Misiones, Argentina

*Correo electrónico: colcombet.luis@inta.gob.ar

²Asesor privado, Misiones, Argentina

³INTA-EEA Corrientes, Corrientes, Argentina

⁴INTA-EEA Cerro Azul, Misiones, Argentina

RESUMEN

El uso racional del medio ambiente, en sistemas naturales o transformados, es un planteamiento de carácter global y la propuesta más difundida para lograrlo en el ámbito local es el desarrollo de sistemas diversificados, amigables con el ambiente porque adoptan medidas apropiadas para su protección. En este sentido, los sistemas silvopastoriles (SSP) combinan árboles con producción animal en una misma área, con el objetivo de diversificar y mejorar la productividad en forma amigable con el ambiente. Se obtienen así productos ganaderos y forestales maderables y no maderables al igual que servicios ecosistémicos.

La región de Misiones y Corrientes, Argentina, es rica en su historia guaraní, por sus sistemas agroforestales tradicionales y la influencia que dejó la Orden de los Jesuitas (1586) en esas comunidades. Presenta un clima subtropical con heladas y régimen pluviométrico isohigro. Se caracteriza por su alta diversificación productiva donde el cultivo de yerba mate *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire, Aquifoliaceae, es emblemático. Es la de mayor desarrollo forestal del país, donde los SSP ocupan en la actualidad una superficie de 100.000 hectáreas (ha). Este desarrollo se logró especialmente en las últimas dos décadas, como resultado de antecedentes, investigación aplicada y transferencia de tecnología al medio productivo a través del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola, organismos oficiales provinciales y otras organizaciones de productores. Este capítulo presenta el estado actual de información sobre los SSP: en el componente forrajero sobre especies forrajeras C₄ adaptadas a estos sistemas, producción de biomasa forrajera, receptividad ganadera, mejora de la calidad nutritiva de las mismas y producción animal en estas condiciones y el efecto de la sombra sobre la fertilidad del suelo. Respecto al componente forestal se detallan especies recomendadas, densidades y marcos de plantación y su manejo. Se analiza la calidad de madera producida en SSP a través de normas de apariencia, específicamente la empleada para remanufacturas (factory grade), de módulo de elasticidad (MOE) y ángulo microfibrilar (AMF). Se determinó que las propiedades físico mecánicas de plantaciones de baja densidad (SSP) son significativamente superiores a un sistema forestal intensivo. Se detallan metodologías aplicadas al análisis económico-financiero de los SSP, como herramientas para la toma de decisiones en su implementación. La limitante a nivel empresarial de Corrientes es el capital a invertir, y en los pequeños productores de Misiones, además del citado, es la reducida superficie de los predios.

El impacto de los SSP es altamente promisorio sobre el medio social: mayores ingresos a nivel predial y generación de fuentes de trabajo genuinas, sostenibilidad ambiental de los recursos y la economía de los territorios, generación de productos con valor diferencial actual o futuro, y uso eficiente de los recursos.



Novillos de raza Brangus pastoreando *Brachiara bryzantha* bajo *Pinus taeda* en el establecimiento La Pera, Misiones.
Foto: F. Montagnini.



INTRODUCCIÓN

El uso racional del medio ambiente, en sistemas naturales o transformados, es un planteamiento global y la propuesta más difundida para lograrlo a escala local es el desarrollo de sistemas diversificados, amigables con el ambiente, porque adoptan medidas apropiadas para su protección. Los sistemas silvopastoriles (SSP) combinan árboles con producción animal en una misma área, con el objetivo de diversificar y mejorar la productividad en forma amigable con el ambiente. Se obtienen así productos ganaderos -carne, leche, lana, cuero, etc. - y forestales maderables y no maderables. Otros beneficios por el uso de estos sistemas, señalan Sotomayor et al. (2009), son la protección que brinda el bosque al ganado en condiciones climáticas adversas y al suelo disminuyendo su deterioro (erosión, compactación, fuerte insolación, microflora y microfauna), la protección de cursos y fuentes de agua, y la reducción del riesgo de incendios. También se destacan los servicios ecosistémicos de carácter global como la conservación de la biodiversidad y la captura de carbono (Harvey et al. 2005, Montagnini y Nair 2004).

En las provincias argentinas de Corrientes y Misiones, que tienen tradición ganadera y forestal, respectivamente, los SSP fueron adoptados inicialmente por empresas forestales integrando dicha actividad con la ganadera en forma acotada en tiempo y espacio, empleando el ganado entre 1,5-2,5 años de instalado el bosque hasta los 5-6 años, con el único objetivo de eliminar la biomasa forrajera convertida en material combustible acumulado y disminuir el riesgo de incendios. El SSP era manejado como tal sólo un 25% del ciclo total forestal. Posteriormente, la plantación de especies forestales por productores ganaderos promovió la integración de ambas actividades hasta finalizar el ciclo forestal, al tiempo que surgieron propuestas de ajustes en los SSP, a fin de mantener menor número de plantas por hectárea, obtener mayor calidad de madera producida y recursos forrajeros y cargas ganaderas acordes con la luz incidente (Ligier 2002). En este capítulo se presentan características históricas y productivas de ambas provincias y la evolución que tuvieron estos sistemas, desde los primeros intentos de integración parcial de las actividades forestales y ganaderas, hasta los actuales aportes tecnológicos provistos por la investigación.

1. CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN

1.1 Características ecológicas

Misiones y Corrientes son dos de las provincias que conforman la Mesopotamia Argentina y concentran la mayor superficie forestada del país, con especies exóticas, mayoritariamente con pinos y eucaliptus. El último inventario forestal realizado en ambas provincias arroja un total de 370 mil y 580 mil hectáreas (SIFIP 2010) en Misiones y Corrientes, respectivamente, con incrementos de 10 mil hectáreas anuales en cada una de ellas.

El clima es subtropical sin estación seca, con heladas que ocurren con frecuencia entre julio y septiembre (Papadakis 1974). Los suelos, derivados de la meteorización de la roca basáltica, son diversos e incluyen molisoles, alfisoles y ultisoles. Son ácidos y con bajos contenidos de fósforo, característica que limita el crecimiento y la calidad de los recursos forrajeros (Frangi 2008) y también el desempeño productivo y reproductivo de animales vacunos de esta región.

Ambas provincias se encuentran bordeadas por dos grandes ríos: al NO-O por el Paraná y al E por el Uruguay. La provincia de Corrientes incluye el complejo del Iberá; de las nueve millones de hectáreas del total provincial, corresponden a este complejo aproximadamente dos millones de hectáreas, cubiertas en su mayoría por humedales y suelos que retienen la humedad por drenaje deficiente.

Las subregiones ecológicas ubicadas en los departamentos del centro y norte de Misiones, lindantes con Paraguay y Brasil, Alta Misiones y Misiones Centro (Papadakis 1974), se caracterizan por la presencia de la formación boscosa de la provincia selva paranaense, o también llamado bosque atlántico interior, con fuerte evidencia de elementos biogeográficos dominantes de la Mata Atlántica del Brasil en la vegetación nativa, ya que es una extensión hacia el interior del continente sudamericano de la macroregión conocida como bosque atlántico o mata atlántica en Brasil. Es este un ecosistema subtropical húmedo, que se extiende como un ecosistema distintivo hacia el interior de Brasil, Paraguay, y en la Argentina, en la Provincia de Misiones (conocida localmente como selva misionera; Cabrera 1976; Dimitri 1979). En la subregión de los campos Misioneros-Correntinos, que incluye los departamentos del sur de Misiones y NE de Corrientes, predominan pastizales y formaciones boscosas en mogotes (isletas) asociados a fuentes de agua y otras que mayormente siguen el curso de los ríos.

1.2 Actividades productivas

En Corrientes, la actividad productiva central es la ganadería bovina, con alrededor de 4,8 millones de cabezas y en menor proporción la ovina, ocupando ambas el 71% del territorio provincial. Esta provincia cuenta con 6 millones de hectáreas de pastizales, sobre los que se desarrolla una ganadería pastoril donde predomina el sistema tradicional de cría vacuna, evolucionando a sistemas integrados de cría, recría y engorde. Entre 2002 y 2013, la superficie forestada pasó de 283.028 a 500.000 ha y, como consecuencia de esto, la superficie ganadera se redujo por el avance de plantaciones mayoritariamente con pinos y eucaliptus. Luego de la etapa de integración parcial de los sistemas forestales y ganaderos, la difusión de los SSP entre productores

ganaderos se consideró como una alternativa para diversificar la producción y mejorar la rentabilidad del sistema tradicional, contándose actualmente cerca de 60.000 ha con estos sistemas, con diferentes grados de tecnología aplicada (Esquivel 2013).

La provincia de Misiones se caracteriza por la diversidad de actividades agropecuarias que se realizan en su territorio, destacándose como productora de madera (bosques implantados y nativos), yerba mate, té, tabaco, citrus y carne vacuna. Alrededor de una cuarta parte de la superficie provincial aún está cubierta por selva nativa, que se concentra en el N provincial, con distintos grados de intervención y sometida generalmente a regímenes de manejo de tipo extractivo minero.

Ambas provincias se caracterizan por el uso diferencial de los recursos naturales, destacándose en la actualidad respecto al resto del país por la difusión que han alcanzado los SSP. En la provincia de Misiones existen 40 mil hectáreas (ha) bajo este sistema (SIFIP 2010), que junto con las de la provincia de Corrientes completan aproximadamente 110 mil ha.

1.3 Etapas en la evolución del uso de los recursos naturales

Fassola et al. (2009) reconocen varias etapas en el uso de los recursos naturales, siendo la primera, previa a la llegada de los españoles, la de la agricultura aborígen. Las dos parcialidades guaraníes que habitaban y habitan la región (Keller 2001) practicaban y practican la agricultura de roza y quema, actividad que les permitía obtener durante cierto periodo del año abundantes alimentos de origen vegetal (Carbonell de Masy 1992). Aunque no puedan considerarse como agroforestales, las observaciones de los etno-botánicos determinaron que los cultivos desarrollados en ambientes boscosos se beneficiaban de éstos por la menor demanda ambiental a que se veían sometidos durante el período primavera-estival y protegidos contra heladas tardías, comunes en la región. Al igual que en otras partes del mundo puede afirmarse que los sistemas agroforestales guaraníes atendían a la seguridad alimentaria, quedando al bosque la función principal de recuperar la fertilidad una vez que el área de cultivo era abandonada.

Durante el período colonial la impronta principal fue dada por la llegada de los Jesuitas, aproximadamente en 1585 desde el Perú a Santiago del Estero, y en 1587 desde el Paraguay al territorio de los Guaraníes donde fundaron las misiones (Fassola et al. 2009). Ellos organizan las aldeas guaraníes dotándolas de estructuras políticas, sociales, militares y económicas destacables para la época. El contacto de éstos con otras ciudades del Virreinato del Río de la Plata generó la posibilidad de un intercambio comercial. Este período culminó en la domesticación del *Ilex paraguariensis* - especie arbórea propia de la selva paranaense - para la obtención de la yerba mate y la introducción de la ganadería extensiva en la zona con pastizales denominada de los Campos Misioneros/Correntinos. Este proceso se interrumpe con la expulsión de los jesuitas por parte de la Corona española, en 1767, aunque su impronta perdurará por siglos.

Con posterioridad, las guerras de independencia primero, las civiles luego y posteriormente la de la Triple Alianza (Argentina, Brasil, y Uruguay contra Paraguay, 1865-1870), convirtieron a esta región, poco relevante para el país en aspectos económicos y políticos, en otra de mayor peso en el contexto nacional. El fin de la guerra de la Triple Alianza (1870) permitió el desarrollo de la navegación por el río Paraná, por el que se transportaba hacia el mercado el producto de la cosecha de los yerbales naturales de la región y de la madera obtenida en los obrajes misioneros (Alcaráz 2006). Paralelamente el Ferrocarril Nordeste Argentino, que operaba una red ferroviaria de trocha estándar (1.435 mm), se expande y llega a Paso de los Libres en 1894, a Santo Tomé, en el NE de Corrientes, en 1901 y a Posadas, capital de la provincia de Misiones, en 1911.

Estos elementos contribuyeron a la integración definitiva de la región a la economía nacional, en especial del actual territorio de la provincia de Misiones. Esto facilitó también el arribo de las corrientes inmigratorias de fines del siglo XIX e inicios del XX, que se abocaron principalmente a la explotación de recursos forestales nativos y al cultivo de la yerba mate, *Ilex paraguariensis*. En las áreas con pastizales del norte de Corrientes, donde la inmigración fue muy reducida, la actividad ganadera extensiva continuó siendo la de mayor importancia. Y se desarrolló en forma similar en la zona sur de Misiones, donde no hubo colonias. La cría de bovinos sobre la base de razas criollas inicialmente y luego rodeos predominantemente con alta proporción de sangre índica, fueron las preponderantes (Lacorte y Esquivel 2009, Lacorte 2014).

Por otro lado, la Primera y Segunda Guerras Mundiales impulsaron la industrialización del país y la necesidad de sustitución de importaciones, entre ellas las de papel y celulosa. El cultivo de especies forestales de rápido crecimiento se inicia en esta región a fines de la década de 1940, con la radicación de industrias celulósicas en una primera instancia y más tarde impulsada por la implementación de incentivos fiscales. Estos hitos llevaron a que la ganadería de cría se concentrara en la zona de campos de ambas provincias y los monocultivos como la yerba mate, té, coníferas y especies anuales como el tabaco, en el centro/norte de Misiones y norte de Corrientes, que serán posteriormente la impronta de la región.

2. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE SSP

2.1 Experiencias iniciales de SSP en Misiones y Corrientes

El crecimiento del sector foresto-industrial argentino en Misiones y Corrientes, constituye uno de los fenómenos más auspiciosos de la actividad productiva del país. Esto se debe al potencial forestal que se manifiesta por las altas tasas de crecimiento de diferentes especies arbóreas, con climas y vastas extensiones de suelos aptos e incentivos para el desarrollo de la actividad mediante la ley que la regula, con apoyo económico no reintegrable a los bosques implantados.

La rápida aceptación de estos sistemas generó mayores demandas por conocimientos sobre las interacciones entre sus componentes, específicamente sobre el efecto de arreglos de plantación, densidades y combinaciones de especies arbóreas sobre la productividad del componente forrajero y animal. Actualmente se desarrollan tecnologías para el funcionamiento de sistemas reales de producción silvopastoriles que integran los componentes suelo-forraje-árbol y ganado.

En la década de los años 70, juntamente con la irrupción de los SSP en el norte de Misiones y noreste de Corrientes, comenzaron las primeras experiencias para evaluar el efecto del pastoreo sobre el desarrollo de las especies forestales, ejecutadas por empresas forestales que iniciaron la actividad. De éstas surgieron resultados sobre la conjugación de especies forrajeras con *Melia azedarach* L., familia Meliaceae (“paraíso gigante”), como componente forestal; continuaron otras experiencias que evaluaron el empleo de *Pinus elliottii* y *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. (“pasto jesuita”; Kozarik y Ruiz 1978).

Posteriormente fueron evaluadas otras especies de gramíneas y leguminosas forrajeras estivales y templadas (Morales 1984); en estas combinaciones no se observaron efectos negativos sobre el crecimiento en altura del *Pinus* spp. (Di Blasi 1989).

En Misiones, Kozarik y Varela (1989), empleando *Axonopus compressus*, establecieron que las diferencias observadas en el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total, comparados con el testigo sin pasturas al tercer año de edad de plantación, fueron mínimas o superiores a la combinación (Morales 1984). Se focalizaron estas experiencias en obtener resultados sobre los efectos en el crecimiento del componente forestal, más que sobre el estrato herbáceo y las interacciones entre ambos. De hecho, el objetivo principal era reducir los costos de cuidados culturales de las plantaciones forestales, al igual que en el sudeste asiático cuando comenzaron estas prácticas, a mediados del siglo XIX en las plantaciones de Teca en sistema Taungya (desarrollado en Birmania, actualmente Myanmar) descritos por Escalante y Guerra en este volumen.

Así mismo se consolidó un conglomerado (“cluster”) forestal generado por una producción celulósica relevante y por la reconversión de la industria de láminas de madera y la del aserrado, las que emplearon mayoritariamente materia prima proveniente de los bosques cultivados por la declinación de los bosques nativos. Este proceso fue acompañado por la expansión de la actividad ganadera en el centro de la provincia de Misiones. En este contexto, los SSP se manejaban en forma tradicional, similar a las plantaciones en macizos, los que exigían varios raleos, los primeros con destino a celulosa, con precios de este producto que eran y siguen siendo muy bajos, y que retrasan la obtención de rollizos aserrables o laminables. Posteriormente, otras áreas en zona de serranías se desmontaban para implantar pasturas y en áreas selváticas se inició un manejo denominado comúnmente “parquizados”, en el que se eliminaba el sotobosque y se mantenían árboles de los estratos superiores e implantaban pasturas debajo de los mismos. En muchas de estas áreas se degradó el recurso forestal y el suelo; los ejemplares aislados, sin apoyo de copas con otros, eran derrumbados por tormentas con fuertes vientos.

2.2 Especies arbóreas y forrajeras utilizadas en SSP en Misiones y Corrientes

Resultados preliminares obtenidos de los SSP motivaron una demanda, especialmente desde el sector ganadero, por conocimientos más complejos acerca de la instalación y manejo de estos sistemas. El argumento de mayor peso que generó esta demanda fue que dichos sistemas permiten una flexibilización de la economía de los establecimientos, dado que el flujo de caja lo provee la ganadería, mientras que el incremento de capital lo brinda la forestación (Esquivel y Lacorte 2010).

Estas demandas incentivaron la búsqueda de nuevos conocimientos desde una visión sistémica, que se vio favorecida por la disponibilidad de ensayos silviculturales que conducía el INTA basados en el concepto de “Tratamientos silvícolas directos”. Este nuevo enfoque proponía combinar las podas y raleos para concentrar el crecimiento en los mejores árboles, desechar los raleos con destino a celulosa (“raleos perdidos”), y evaluar el comportamiento del componente forrajero, con pastizales y especies forrajeras para conformar pasturas bajo el dosel (Benvenuti et al. 2000). También se propuso evaluar el componente animal en términos productivos y reproductivos, comparando el desempeño bajo el dosel arbóreo con el de fuera del dosel o a cielo abierto (Navajas et al. 1992).

Así como en los años 1990 se enfocaron las evaluaciones sobre el componente forestal y de los demás - forrajero, ganadero y ambiental - sólo en cómo y en cuánto afectaban al forestal, a partir del 2000 se formaron grupos con profesionales de distintas disciplinas, provenientes del sector público, varias unidades del INTA y asesores privados de los Consorcios Regionales de Experimentación Agropecuaria

(CREA) orientándose la investigación al estudio de los SSP con un enfoque sistémico. Se iniciaron ensayos en las Estaciones Experimentales del INTA y en campos de productores enfocados a obtener resultados sobre las interacciones entre los componentes, el desarrollo de pautas de manejo y la calidad de los productos del sistema. La evaluación de SSP en sistemas reales de producción en ambas provincias, reveló una diversidad de modelos en los que se combinan especies forestales, tipos de pastizales, pasturas e implantación, sistemas y manejos ganaderos. A fin de caracterizar estos modelos se realizó un relevamiento en ambas provincias y se detectaron 82 diferentes modelos de SSP, lo que reveló la amplia y rápida difusión de los mismos (Goldfarb et al. 2010).

Las especies del componente forestal en esta región tienen destino maderable, principalmente maderas decorativas y de alta calidad. Las más evaluadas, difundidas y utilizadas en los SSP de ambas provincias son: *Pinus taeda* L., *Pinus elliottii* Engelm., *Pinus caribaea*, *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, familia Myrtaceae, *Grevillea robusta* A. Cunn., familia Proteaceae, *Melia azederach* L., familia Meliaceae, *Paulownia* sp., familia Paulowniaceae (Benvenuti et al. 1997, Lacorte 2001, Colcombet et al. 2002, Fassola et al. 2002, Pérego 2002, Lacorte et al. 2003, Pachas et al. 2008).

Las gramíneas forrajeras que se combinan con estas especies forestales, además de los pastizales típicos de ambas provincias y agro-eco-regiones de cada una, son: *Urochloa brizantha* cvs. Marandú, Toledo (MG5); Híbrido *U. ruziziensis* x *U. brizantha* cv. Mulato; *Setaria sphacellata* var. *Sericea* cv. Narok; *Brachiaria humidicola*; *Chloris gayana* cv. Callide y *Megathyrus maximus* entre las que producen semillas. Las que se propagan por vía vegetativa son *Axonopus catarinensis* Valls, *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv., *Acroceras macrum* Stapf., *Pennisetum purpureum* Schum. y la leguminosa *Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Greg., familia Fabaceae, cuando no hay disponibilidad de semillas de la misma. Esta última y *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene, familia Fabaceae, son de las pocas especies forrajeras que se incorporaron en las experiencias con SSP por antecedentes promisorios en ésta y otras regiones, aunque la escasez de semillas aún limita la incorporación masiva en estos sistemas (Lacorte et al. 2006, Goldfarb et al. 2009a, Goldfarb et al. 2009b, Rossner et al. 2010, Skromeda 2013).

2.3 Interacciones entre el componente arbóreo y pasturas: productividad del forraje

En los SSP los árboles y los recursos forrajeros compiten por el acceso al agua, nutrientes del suelo y luz. El dosel arbóreo captura la energía solar e impone, según edad, especie forestal, densidad, sistema de plantación y manejo silvícola, condiciones favorables o adversas para el crecimiento de las especies forrajeras bajo el mismo (Andrade et al. 2002). La sensibilidad a la sombra varía según las especies; en gramíneas megatérmicas la producción de forraje disminuye cuando la luz incidente bajo dosel es menor del 30% (Varella et al. 2008).

Una de las variables estudiadas es la cantidad y distribución de la sombra que incide sobre el componente forrajero y cómo afecta la persistencia productiva del mismo. Las especies forrajeras mencionadas anteriormente se incorporaron a los SSP por ser más tolerantes a la sombra en los resultados obtenidos en ensayos del INTA y en sistemas reales de producción (Benvenuti et al. 2000, Valls et al. 2000, Lacorte et al. 2004, Fassola et al. 2005, Lacorte et al. 2006, Goldfarb et al. 2007, Lacorte y Esquivel 2009, Goldfarb et al. 2013, Goldfarb et al. 2014).

El efecto de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (pino híbrido) plantado a dos densidades (400 y 250 árboles ha⁻¹) y dos marcos de plantación (líneas simples y líneas dobles) fue evaluado a través de la producción de materia seca forrajera (kg MS ha⁻¹) de *Urochloa brizantha* cv. Marandú. Tanto la densidad como los marcos de plantación afectaron dicha producción forrajera,

siendo ésta más estable en las líneas dobles que en las líneas simples a igual densidad de plantación (Goldfarb et al. 2014). En la misma experiencia se midió la incidencia de luz y se determinó que a igual densidad, la incidencia es mayor en las líneas dobles que en las líneas simples (Goldfarb et al. 2014). Otra especie que se destacó por su tolerancia a la sombra y al frío y además de elevada calidad forrajera es el *Axonopus catarinensis* (Pavetti y Benvenuti 2003, Pachas et al. 2004, Pavetti et al. 2004, Pachas et al. 2008, Rossner et al. 2009).

En los primeros trabajos donde se evaluó el crecimiento de gramíneas bajo sombra artificial, Pachas et al. (2004) trabajando con *Axonopus catarinensis* determinaron una mayor acumulación de materia seca con 50 a 65% de radiación fotosintéticamente activa (RFA) respecto a cielo abierto. Coincidentemente, Lacorte et al. (2004) trabajando con *A. compressus* encontraron que con 50% de sombra artificial la acumulación de materia compuesta fue de 8370,33 kg MS ha⁻¹, significativamente diferente a los 2059 kg MS ha⁻¹ logrados con 0% de sombra.

Pachas (2010a) determinó que la producción primaria neta aérea (PPNA) de *Axonopus catarinensis* bajo 38% de sombra tuvo un incremento significativo de 41% respecto a las plantas a pleno sol, mientras que con mayor nivel de sombra (53% y 71%) la PPNA fue similar a la obtenida a pleno sol. En cambio, en el caso de *Arachis pintoii* el incremento no fue significativo: la PPNA fue 12% mayor bajo 38% y 53% de sombra que a pleno sol, mientras que con 71% de sombra la PPNA decayó un 13% respecto al tratamiento a pleno sol. Esta mayor PPNA anual bajo sombra se debió principalmente al incremento de la tasa de crecimiento en los momentos de mayores déficits hídricos (fin de verano y otoño) y en menor medida al crecimiento invernal.

En suelos rojos profundos se utiliza como componente forestal a *Eucalyptus* spp. por su velocidad de crecimiento y reducción del turno de corte comparado con *Pinus* spp. En estos SSP el manejo forestal impacta en la persistencia y productividad del componente forrajero. En *Urochloa brizantha*, una de las especies forrajeras utilizadas con Eucaliptus, se evaluó la composición botánica y producción forrajera (CB kg MS ha⁻¹) bajo el dosel, plantado en líneas dobles con un marco de 4m entre líneas x 2m entre plantas x 19m de callejón. En este ensayo se determinó que hasta el quinto año de instalado el sistema, ambas variables no fueron afectadas por el dosel arbóreo (Goldfarb et al. 2014).

En áreas donde el pastizal es el principal componente forrajero de los SSP, se evaluaron en los mismos el efecto de niveles de sombra, sensibilidad de las especies con valor forrajero, disponibilidad forrajera aérea y radical, invasión de malezas y desempeño animal bajo diferentes marcos, densidades y combinaciones con especies forestales (Goldfarb et al. 2007, 2013).

La disponibilidad forrajera aérea (MS kg ha⁻¹) y la composición botánica de un pastizal típico de los suelos con drenaje deficiente, denominados localmente “malezales”, se modificó en un SSP con *Pinus elliottii* comparado con el mismo pastizal a cielo abierto. Las especies predominantes de este pastizal, fuera del dosel, *Hypogonium virgatum* (Desv.) Dandy y *Sorghastrum setosum* (Griseb.) Hitchc., ambas de la familia Poaceae, fueron remplazadas bajo el dosel del pino por *Axonopus compressus* en 50% de la disponibilidad forrajera total. Cabe destacar que esta especie es de alto valor forrajero (Goldfarb et al. 2007).

Por otro lado, en un pastizal con predominio de *Andropogon lateralis* y *Sorghastrum setosum* integrando un SSP con *Pinus elliottii* var *elliottii* x *P. caribaea* var *hondurensis* (pino híbrido) y diferentes densidades, 646 árbol ha⁻¹, 400 árbol ha⁻¹ y 250 árbol ha⁻¹ se evaluó la sensibilidad de las especies con valor forrajero en términos de producción forrajera total (MS kg ha⁻¹) comparada con el mismo pastizal fuera del dosel. La producción forrajera del pastizal disminuyó significativamente a mayor

densidad de árboles (5000 kg ha⁻¹ fuera del dosel vs 1600 a 2000 kg ha⁻¹ bajo el dosel). Esto se debió a la disminución drástica de especies sensibles a la baja radiación tales como *Andropogon lateralis* y *Sorghastrum setosum*, desarrollándose otras tolerantes como *Axonopus compressus* y *Axonopus argentinus* Parodi. Si bien el dosel arbóreo ejerce un efecto protector durante la ocurrencia de eventos climáticos extremos, también compite con el pastizal por luz. De todas formas, la menor producción se ve compensada por el aporte que realizan especies de mayor valor forrajero (Goldfarb et al. 2013).

Fassola et al. (2005), en un ensayo con diferentes tratamientos de poda y raleo en *Pinus taeda* y *Axonopus jesuiticus* Valls, encontraron una alta asociación entre la producción de biomasa del estrato herbáceo y el área basal en la base de la copa viva ($r = 0,71$, $p < 0,0001$) y una baja relación con factores ambientales como precipitación y temperatura. Tanto variables vinculadas esencialmente a la biomasa foliar del rodal, como variables vinculadas al tamaño del árbol y la edad del rodal, evidenciaron un mayor potencial para ser empleadas como predictoras de la producción anual del estrato herbáceo.

2.4 Interacciones entre el componente arbóreo y pasturas: calidad del forraje

En cuanto a la calidad del forraje, Lacorte et al. (2004), en una experiencia bajo sombra artificial, encontraron al año de establecida un incremento en el contenido de fósforo en la materia verde forrajera, expresada en materia seca, en los niveles de sombra evaluados en el ensayo. Para el caso de proteína bruta se observó un incremento, pero éste fue errático respecto a los mismos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico de la materia verde forrajera de *Axonopus compressus* al año de iniciada la experiencia.

Tratamientos	Sombra (%)	Fósforo (g 100 g MS ⁻¹)	Nitrógeno (g 100 g MS ⁻¹)
Con fertilización (260 kg superfosfato de Ca ha ⁻¹)	0	0,231	10,3
	30	0,254	9,6
	50	0,254	9,3
	65	0,291	12,5
Sin fertilización	0	0,170	9,4
	30	0,174	10,2
	50	0,201	9,2
	65	0,209	12,1

Pachas et al. (2004), en ensayos con *Axonopus catarinensis*, observaron que en condiciones de sombra artificial el contenido de proteína cruda aumenta, mientras que el de los carbohidratos solubles disminuye. Pachas, posteriormente, y citando a varios autores, indica que el aumento del área foliar específica, de la altura de las plantas y del índice de área foliar en menor medida, contribuyeron a garantizar una mayor captación de radiación cuando ésta fue limitante (Pachas 2010). El aumento del área foliar específica en condiciones de sombra es el factor más importante en la maximización de la ganancia de carbono por unidad de masa foliar. Los resultados de su experiencia indican que si bien la biomasa de hojas aumentó un 11%, la biomasa de tallos lo hizo en mayor medida (44%) debido a que las plantas a la sombra generaron mayor tejido de sostén y por lo tanto incrementaron su altura. Además, la biomasa de raíces se redujo significativamente. Los cambios asociados a una mayor partición de asimilados hacia las hojas y a la arquitectura de las plantas son estrategias para mejorar

la capacidad de intercepción de la radiación en las plantas creciendo bajo sombra. Sin embargo, esta respuesta podría conducir a una mayor vulnerabilidad de las plantas cuando son expuestas al sobrepastoreo y/o sequías.

En el mismo ensayo anterior, tanto en *A. catarinensis* como en *Arachis pintoi*, la sombra incrementó la concentración de los minerales P, Cu y Fe en ambas especies, la concentración de Mg y Mn en la leguminosa y la de K y Zn en la gramínea. Sin embargo, la sombra tuvo un efecto reductor de la concentración de Ca y el Mn de la gramínea (Pachas 2010). Este autor, coincidiendo con otros, indica que la mayor concentración de nutrientes en las especies forrajeras estaría más relacionada con una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo y/o mayor absorción debido a la mejora en la disponibilidad hídrica. Citando a Cruz (1997) indica que la absorción de P y K en forrajeras se incrementa por la sombra, principalmente en épocas con limitaciones en la disponibilidad de agua. También indica que para el caso del P, otra causa para que la sombra incremente la disponibilidad del mismo es la mayor asociación de la planta con microorganismos del suelo, que incrementan la solubilización y la absorción de dicho elemento.

Análisis de suelos determinaron una mayor concentración de fósforo asimilable bajo dosel de *Grevillea robusta* que bajo pino híbrido (*P. elliotii* x *P. caribaea*) y *P. taeda*, si bien la concentración de fósforo total es muy similar en las tres especies. Por otro lado, hojas de *Toona ciliata* Roem., familia Meliaceae, creciendo bajo dosel de *Grevillea robusta*, presentan mayor tenor de fósforo que las hojas de esta última especie, lo que indicaría que moviliza este elemento pero lo deja disponible para los cultivos acompañantes y para el componente forrajero (Cordel et al. 2008).

En un trabajo sobre interacciones entre componentes de un SSP se determinó que el crecimiento del componente arbóreo (*Grevillea*) no presentó diferencias significativas bajo clausura o pastoreo continuo, siendo levemente superior en este último tratamiento (Lacorte et al. 2003). En el mismo trabajo se establece que no hubo diferencias significativas en la densidad aparente del suelo con cuatro años de pastoreo vs. clausura sin animales.

2.5 Productividad del ganado

Analizando un caso de un SSP conducido en un establecimiento en el sur de Misiones durante nueve años, cuyos componentes fueron *Grevillea robusta*, principalmente con *Urochloa brizantha* cv. Marandú en el estrato herbáceo y con categorías jóvenes de vacunos de diferentes grados de cruzamientos Brangus y Braford, y una carga ganadera que varió de 0,63 hasta 1,95 animales (an.) ha⁻¹, establecida de acuerdo con la disponibilidad y oferta forrajera, se lograron incrementos diarios de peso mayores a 0,492 kg peso vivo (PV) an.⁻¹ día⁻¹ durante 6 ciclos y de 0,250 kg PV an.⁻¹ día⁻¹ en los tres ciclos restantes. Cuando se utilizaron vaquillonas, éstas lograron peso de entore (300 kg PV) en su primer otoño después del destete y con terneros se logró llevarlos a novillos de 450 kg PV an.⁻¹ en 27 meses. Si bien hubo heladas no se observó deterioro del forraje, excepto en los bordes de la parcela y en lugares abiertos dentro de la misma sin la protección del dosel arbóreo (Lacorte et al. 2009).

Otro trabajo sobre desempeño productivo de vaquillonas bajo dosel arbóreo de *Pinus elliotii* sobre un pastizal de *Axonopus compressus*, en términos de ganancias de peso, condición corporal y desarrollo genital resultó en que fue superior en el SSP al de vaquillonas en condiciones de cielo abierto. Este hecho permitiría el servicio de las mismas en otoño, a los 18 meses de edad, adelantando así la vida útil de los vientres. En el engorde de novillos sobre un pastizal similar al anterior, se obtuvo la misma tendencia que en el caso anterior en cuanto a las ganancias diarias de peso (Cuadro 2). Cabe destacar que en condiciones de SSP el pastizal estuvo clausurado hasta el comienzo de la experiencia, mientras que a cielo abierto tuvo quemadas estratégicas (Goldfarb et al. 2007).

El pastoreo bajo dosel arbóreo contribuye al confort térmico de los animales, ya que previene o reduce el estrés calórico, lo que repercute en la eficiencia de producción (Lacorte et al. 2009). Se registra una menor pérdida de energía para disipar el calor en meses estivales y menor consumo de energía para elevarla en invierno (Pérego 2002, Lacorte et al. 2003). Por otro lado, al disminuir el daño de las heladas sobre el componente forrajero, trae como consecuencia la eliminación o reducción de la suplementación invernal de los animales, lo cual es un beneficio financiero de los SSP en comparación con el ganado a cielo abierto (Lacorte y Esquivel 2009).

Cuadro 2. Recría de vaquillonas y engorde de novillos en SSPs basados en *Pinus elliottii* y pastizal con predominio de *Axonopus compressus*, en el norte de Corrientes, Argentina. GDPV: ganancia diaria de peso vivo.

Tratamientos	T0 / baja carga	T1 / baja carga	T2 / alta carga
Sistema Engorde Novillos			
Peso promedio (prom.) inicial marzo/05 (kg)	350	225	309
Peso prom. final dic/06 (kg)	475	398	457
Peso final – Peso inicial (kg an. ⁻¹) 630 días	125	173	148
GDPV (kg animal (an.) ⁻¹ día ⁻¹)	0,198	0,275	0,235
Sistema Recría Vaquillonas			
Peso prom. inicial mayo/05(kg)	191	186	197
Peso prom. final marzo/06(kg)	271	287	283
Peso final – Peso inicial (kg an. ⁻¹) 315 días	80	101	86
GDPV (kg an. ⁻¹ día ⁻¹)	0,255	0,320	0,273
Condición corporal (escala 1 a 9)	3,5	5	4
Desarrollo genital (1 a 4)	2	3	3

La modificación del ambiente genera, además, un aumento en la receptividad de las pasturas por lo que es posible incrementar la carga animal (Lacorte et al. 2003). En efecto, en el SSP descrito anteriormente (*Grevillea* y *Urochloa*) se logró hasta tres veces la carga animal de un pastizal en el mismo tipo de suelo, comparado con el desempeño animal fuera del dosel (Lacorte et al. 2009). Este beneficio de los SSP es también presentado en detalle por Murgueitio et al. en este volumen.

3. CALIDAD DE LA MADERA EN SSP EN MISIONES Y CORRIENTES

Los sistemas silvopastoriles más estudiados en la región, en cuanto a la calidad de la madera, son los que recurren al empleo de *Pinus taeda* como componente forestal. Esta especie fue la más empleada hasta la aparición de híbridos de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea*. Éstos, por su mejor forma, ramas pequeñas y copa que permiten un mayor pasaje de radiación, están cobrando gran importancia.

Un estudio comparativo de rendimiento en el aserrado entre ejemplares de dos rodales de *Pinus taeda* a la misma edad, uno manejado bajo sistema silvopastoril con 200 plantas (pla.) ha⁻¹ y el otro con un manejo forestal intensivo, destinado a aserrado, con 400 pla. ha⁻¹ a los 11 años y 300 pla. ha⁻¹ a los 15 años, arrojó un mayor rendimiento en grados de calidad superiores en los ejemplares

procedentes del sistema silvopastoril. Al tipificar la producción bajo normas de apariencia, específicamente la empleada para remanufacturas (factory grade), la misma reflejó que el tratamiento silvícola aplicado en el sistema silvopastoril brindaba un porcentaje mayor de grados de calidad superiores en la muestra analizada (Fassola et al. 2007, 2012; Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento porcentual en volumen por grado de calidad de apariencia para remanufacturas de una muestra aserrada de ejemplares de *Pinus taeda* de 11 y 15 años de edad bajo dos manejos silvícolas diferentes.

Manejo Silvícola	Edad (Años)	Participación porcentual por grado de calidad (%)						Total muestra (%)
		M&B	Shop 1	Shop 2	Shop 3	P99	NC	
Silvopastoril	11	25	12	12	23	14	15	100
Silvopastoril	15	31	8	17	34	8	2	100
Forestal intensivo	11	18	10	20	38	15	0	100
Forestal intensivo	15	13	25	28	29	5	0	100

M&B: Moulding and Better: grado de calidad con aptitud para molduras y productos superiores; Shop 1-2-3: grados de calidad con aptitud para partes de puertas y ventanas; P99: grados de calidad con aptitud para fingerjoint; NC: no clasifica.

Como puede verse en el Cuadro 3, tanto a los 11 como a los 15 años de edad, la proporción de M&B, el grado de calidad de mayor precio, fue superior en ejemplares procedentes de rodales con podas y raleos, aunque éstos no fueron tan intensos como los aplicados al SSP.

Winck (2013) y Winck et al. (2013), sin embargo, determinaron que una reducción drástica de la densidad en forma temprana en rodales de *Pinus taeda*, de 1960 hasta 245 plantas (pla.) ha⁻¹ a los 3 años, trajo aparejada una disminución de propiedades físico-mecánicas como el módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de rotura estático (Figura 1), pudiendo ser atribuido esto a un incremento del ángulo microfibrilar (AMF; Figura 2). Esto podría afectar la posibilidad de algunos usos de la madera procedente de rodales de la especie, implantados a muy bajas densidades, o raleados muy intensamente a edades tempranas.

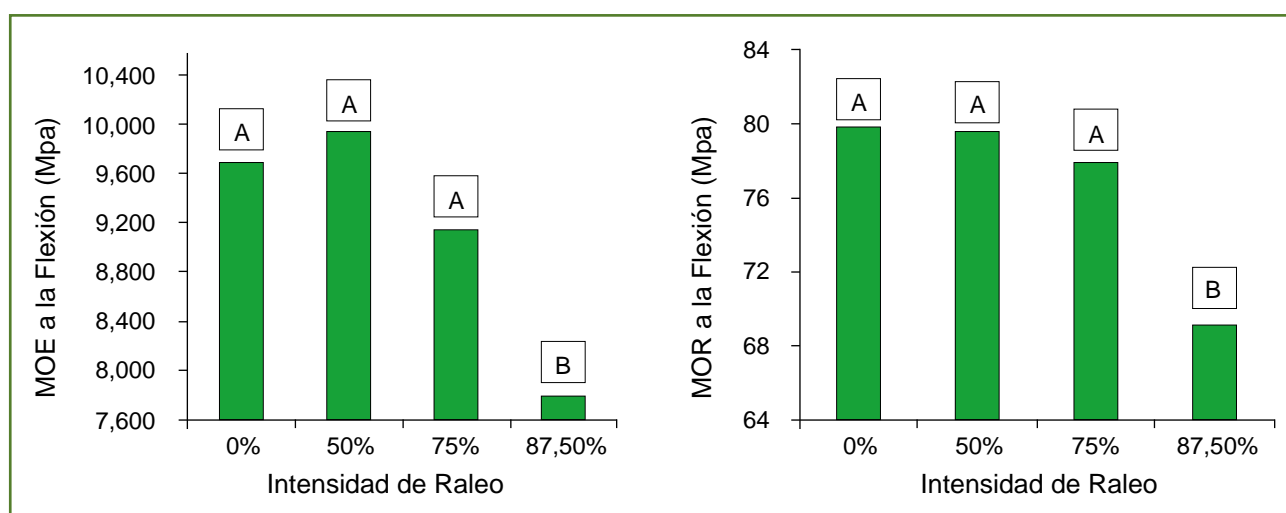


Figura 1. Variación del módulo de elasticidad (MOE) y del módulo de rotura (MOR) estático promedio de trozas basales de *Pinus taeda* con cuatro tratamientos de raleo (0%: 1960 plantas (pla.) ha⁻¹; 50%: 980 pla. ha⁻¹; 75%: 490 pla. ha⁻¹ y 87%: 245 pla. ha⁻¹).

Sin embargo, los regímenes silvopastoriles de la región llevan implícitos tratamientos de poda. Evaluando rollizos de un tratamiento de raleo y distintos tratamientos de poda, mediante métodos acústicos, Fassola et al. (2014) encontraron que los tratamientos de poda tienden a mejorar el MOE de los rollizos basales. En la Figura 3 pueden observarse los MOE dinámicos de rollizos de árboles procedentes de tratamientos con poda y sin poda.

En la Figura 3 se observa que el MOE de los rollizos hasta los 6 metros de altura en ejemplares sin poda de *Pinus taeda* de 20 años no superan un MOE dinámico de 8 Gpa, mientras que 4 de los rollizos basales procedentes de parcelas con el mismo número de ejemplares pero podadas hasta los 6-6,50 metros de altura en tres realces que eliminaban el 50% de la copa verde en cada uno de los rollizos presentaban valores de MOE superiores a 8 Gpa. Este comportamiento se repitió con otros rodales podados y no podados (Fassola 2014, inédito), compensando ello, en parte, el efecto negativo de raleos tempranos muy drásticos.

Un comportamiento contrario, respecto de la densidad, exhibió *Grevillea robusta*. Barth (2014) trabajando con un ensayo de densidades iniciales de plantación, determinaron que a los 19 años de edad las propiedades físico-mecánicas eran significativamente superiores con 125 plantas por hectárea, que con densidades mayores (350, 700, y 1600 plantas por hectárea, respectivamente).

En cuanto a la otra especie más difundida, el *Eucalyptus grandis*, Caniza (2010) recomienda mantener espaciamentos regulares entre árboles de un rodal, a los fines de disminuir las tensiones y consecuentemente rajaduras de la madera.

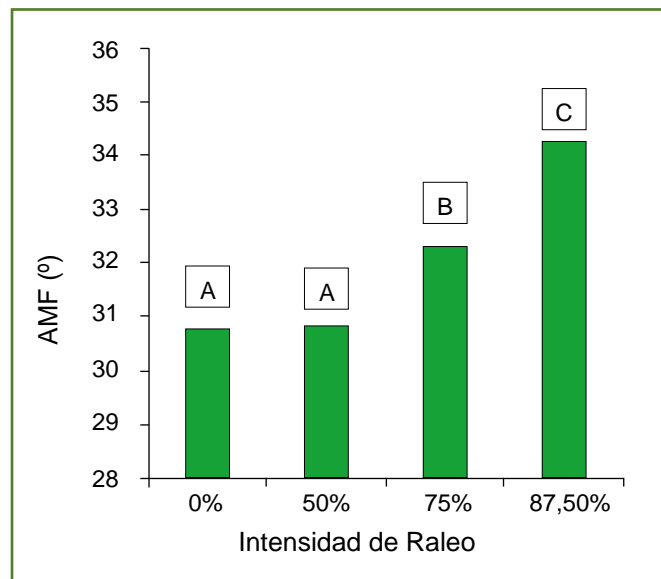


Figura 2. Variación del ángulo microfibrilar (AMF) promedio de trozas basales de ejemplares de *Pinus taeda* de cuatro tratamientos de raleo (0%: 1960 plantas (pla.) ha⁻¹; 50%: 980 pla. ha⁻¹; 75: 490 pla. ha⁻¹ y 87%: 245 pla. ha⁻¹).

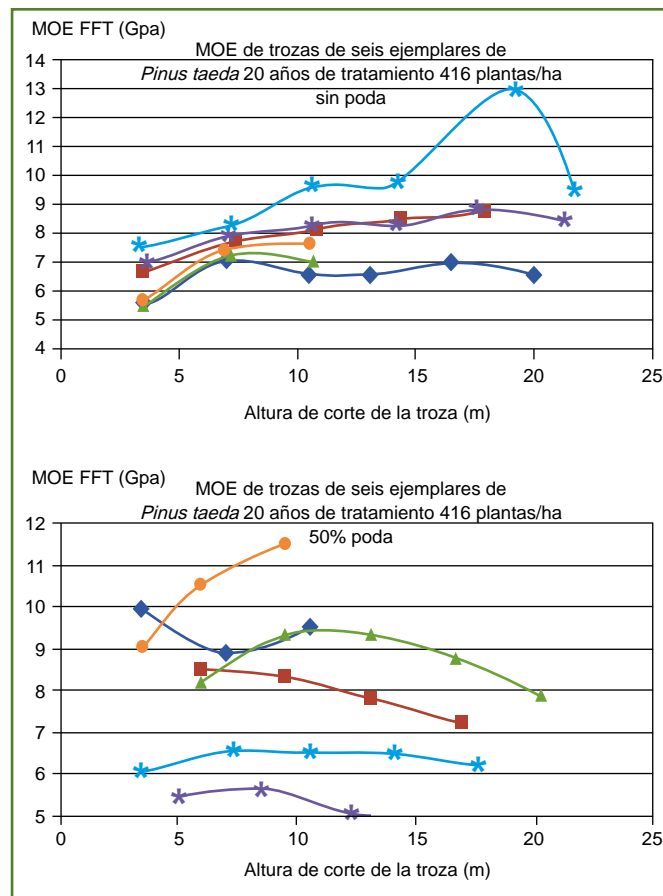


Figura 3. MOE de rollizos de ejemplares de *Pinus taeda* de 20 años bajo distintos regímenes de poda determinado mediante resonancia empleando la Transformación Rápida de Fourier (FFT). Nota: *Pinus taeda* con 50% de poda en tres realces.

4. ANÁLISIS ECONÓMICOS-FINANCIEROS EN SSP EN MISIONES Y CORRIENTES

4.1 Métodos para análisis financiero de SSP

En la región nordeste de la República Argentina, la incorporación de árboles a los potreros ganaderos generó situaciones que van desde el desplazamiento total de la ganadería hasta la máxima complementación, como son los sistemas silvopastoriles. No es habitual que los productores ganaderos analicen el negocio forestal en términos económicos-financieros, siendo el factor tiempo el que desalienta a realizarlo. No obstante, los vislumbran como una alternativa de diversificación productiva, considerando la forestación como una “caja de ahorro” mientras continúan con la ganadería como su actividad principal que pasa a ser la “caja chica.” El incremento patrimonial a través de los años con la forestación los incentiva a realizar inversiones con horizontes de realización más largos que los de la ganadería (Esquivel y Lacorte 2010).

Existen diversos métodos para analizar financieramente los SSP basados en las distintas alternativas de uso del capital circulante. Los que normalmente se aplican en los modelos forestales utilizan tasas de interés para descontar un flujo de caja discontinuo, hasta un momento inicial (Valor Actual Neto, VAN) o calculan la tasa de interés de ese flujo de caja cuando el VAN es igual a cero (Tasa Interna de Retorno, TIR). En el caso de los sistemas ganaderos o agrícolas, la unidad de análisis económico es el resultado expresado en \$ ha⁻¹ año⁻¹. Para comparar una actividad con resultados anuales con otra que tiene tiempos de producción plurianuales, es necesario expresar el resultado económico de las mismas en una misma unidad. El Ingreso Anual Equivalente (IAE), que es el VAN multiplicado por un factor de anualidad, permite transformar el flujo de caja plurianual en un único monto constante que representa el negocio con ingresos y egresos discontinuos. De esta forma se puede comparar una producción de maíz con una producción de terneros, o una producción de madera de eucaliptos.

Sin embargo, es necesario también realizar el análisis desde el punto de vista de la inmovilización del capital circulante. Las inversiones en forestación, que implican una transferencia de capital circulante o ganadero hacia el árbol, tienen un período mínimo de recuperación de por lo menos 6 años hasta un máximo de 18 años. La correcta planificación financiera evita la descapitalización ganadera del productor, o la venta anticipada de los árboles. En consecuencia, es necesario conocer el monto a invertir y los momentos de su erogación, así como el punto a partir del cual se transforma en positivo el saldo acumulado. En la República Argentina, el Estado promueve la actividad forestal (Ley 25.080) haciendo un reintegro del 80% del valor de la plantación y de las tareas silviculturales (tres podas y un raleo no comercial). Este monto se recupera entre el tercer y sexto año de realizada la inversión, cambiando sustancialmente el resultado del negocio forestal. Es importante recalcar la importancia que tuvo este programa de incentivos en el desarrollo forestal durante la década del '90. En los Cuadros 4 y 5 se observan como ejemplo los indicadores financieros modelados de dos tipos de manejo: silvopastoril y forestal intensivo (con actividad ganadera temporaria hasta que la sombra impide el crecimiento del forraje), mostrando cifras promedio para situaciones típicas en Corrientes y Misiones.

Cuadro 4. Flujo de fondos (US\$ ha⁻¹ año⁻¹) en un manejo silvopastoril modelado. Indicadores financieros. Gastos anuales de administración y estructura fueron US \$5 ha⁻¹. Fuente: Esquivel (2014); elaboración propia con datos de SSP de Misiones y Corrientes.

Sistema Silvopastoril - US\$ ha⁻¹						
Año	Plantación	Manejo (podas y raleos)	Ingresos Forestales	Ingresos Ganaderos	Saldo	Saldo Acumulado
1	281				-286	-286
2	42				-47	-332
3					-5	-337
4		126	531		400	63
5		109	262	30	178	240
6		60	130	30	95	336
7			151	30	176	512
8				30	25	537
9				30	25	562
10				30	25	587
11			300	30	325	912
12				30	25	937
13				30	25	962
14				30	25	987
15				30	25	1.012
16			3.072	30	3.097	4.109
Tasa Interna de Retorno (% TIR)				35,27		
Valor Actual Neto (VAN 8%; US\$ ha⁻¹)				1.497		
Ingreso Anual Equivalente (IAE; US\$ ha⁻¹ año⁻¹)				169		

Cuadro 5. Flujo de fondos (US\$ ha⁻¹ año⁻¹) en un manejo forestal intensivo modelado. Indicadores financieros. ¹Actividad ganadera temporaria hasta que la sombra impide crecimiento del forraje. Fuente: Esquivel (2014), elaboración propia con datos de SSP de Misiones y Corrientes.

Manejo Forestal Intensivo - US\$ ha ⁻¹						
Año	Plantación	Manejo (podas y raleos)	Ingresos Forestales	Ingresos Ganaderos ¹	Saldo	Saldo Acumulado
1	377				-382	-382
2	53				-58	-441
3					-5	-446
4		175	569		390	-56
5		153	262	30	134	78
6		84	130	30	71	149
7			151	30	176	325
8					-5	320
9					-5	315
10					-5	310
11					-5	305
12					-5	300
13			736		731	1.031
14					-5	1.026
15					-5	1.021
16					-5	1.016
17					-5	1.011
18			4.800		4.795	5.806
Tasa Interna de Retorno (% TIR)				26,74		
Valor Actual Neto (VAN 8%; US\$ ha⁻¹)				1.693		
Ingreso Anual Equivalente (IAE; US\$ ha⁻¹ año⁻¹)				181		

4.2 Ventajas financieras de los SSP

En los sistemas agroforestales y SSP, la diversificación de la producción brinda una mayor estabilidad económica o, por lo menos, reduce la inestabilidad de la misma. En esta región se integra el componente forestal -pino, eucalipto, *Grevillea*, paraíso (*Melia azererach*), kiri (*Paulownia spp.*)- con otros componentes como yerba mate (*Ilex paraguariensis*), pasturas/pastizales, mandioca (yuca), tabaco y otros cultivos anuales en menor escala. La mayor diversificación productiva en general la tienen los pequeños productores, en cambio las grandes empresas presentan mayor diversificación dentro de una misma actividad (maderas de diferente tipo, venta de diversas categorías de hacienda). Trabajar con un portafolio de productos permite reorientar las ventas y compras dependiendo de las relaciones de precios entre estos productos. Dentro de esta integración en sistemas, las decisiones referidas al componente forestal permiten cierta postergación en el tiempo ante condiciones de mercado adversas. Por otro lado, al manejar un sistema integrado con otras actividades compartiendo el mismo suelo, dichas decisiones son menos flexibles, ya que por ejemplo y principalmente la falta de luz puede afectar el desarrollo de las especies que ocupan el estrato inferior.

Un ejemplo de las relaciones de cambio existentes entre componentes de un SSP se puede observar en el Cuadro 6, donde se calculó la conveniencia de forestar más superficie o comprar terneros para aumentar la ganadería, de acuerdo con el precio de cada componente.

Cuadro 6. Relaciones de cambio entre la tonelada (Mg) de rollos de pino y el kg de ternero. Fuente: Esquivel (2014), elaboración propia con datos de SSP de Misiones y Corrientes.

Ejercicio	Terneros US\$ kg ⁻¹	Pino US\$ Mg ⁻¹ en pie	Kg terneros comprados por Mg de pino	Kg terneros necesarios para plantar 1 ha de pino
2003/2004	0,65	8,30	12,77	230,00
2004/2005	0,76	12,00	15,79	197,00
2005/2006	0,93	12,00	12,90	215,00
2006/2007	0,88	14,10	16,02	228,00
2007/2008	0,97	18,30	18,87	205,00
2008/2009	0,89	20,20	22,70	230,00
2009/2010	1,29	20,40	17,36	155,0
2010/2011	2,50	20,10	8,04	80,00
2011/2012	2,62	14,50	5,53	84,00
2012/2013	1,65	13,20	8,00	133,00
2013/2014	1,33	13,46	19,12	165,00
Promedio	1,32	15,32	13,46	174,73

En los SSP, la subutilización del suelo por una menor densidad del componente forestal que permita la entrada de luz, se compensa por la producción de madera diferenciada, libre de nudos y de mayores diámetros, que repercute en el rendimiento y la eficiencia de la industria maderera. El aumento de la oferta de estos productos generará una mayor demanda con el consecuente aumento del valor; actualmente existen diferenciales de precios del orden del 35% al 70% a su favor. En la Figura 4 se resume conceptualmente lo antedicho.

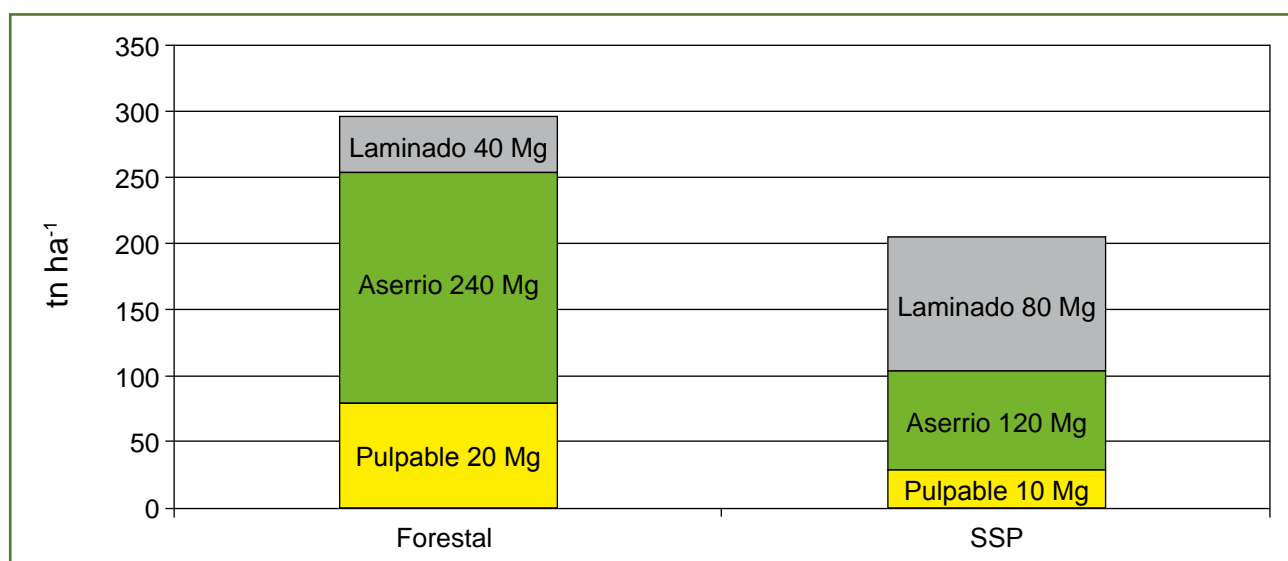
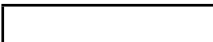


Figura 4. Esquema conceptual de los diferentes productos (toneladas (Mg) ha⁻¹) de dos manejos, forestal y silvopastoril (SSP) Fuente: Esquivel (2014), elaboración propia con información de SSP de Misiones y Corrientes.

La incorporación de la forestación en campos ganaderos genera tres situaciones. En la primera, existe un tiempo de clausura del potrero forestado - entre dos a tres años en plantaciones de pinos y uno a dos en plantaciones de eucaliptos - y la ganadería debe ser excluida para evitar el daño a las plantas muy jóvenes. En la segunda, se realiza el pastoreo normal debajo de las plantaciones, siendo importante el manejo de la luminosidad (configuraciones de plantación, raleos, y podas). Finalmente, la tercera situación es determinada por el sombreamiento del componente forrajero: de acuerdo al turno de corte y a los años que permanezca en clausura, será la proporción de uso del suelo con ganadería. En el Cuadro 7 se representan esquemáticamente los años de clausura al pastoreo para evitar daños al componente forestal, los de pastoreo y los años en que la sombra impide el crecimiento del forraje obligando a retirar los animales en pastoreo.

Cuadro 7. Uso del suelo para pastoreo en función del manejo del pino y eucalipto. Fuente: Esquivel (2014), elaboración propia con información de SSP de Misiones y Corrientes. F: Forestal; FI: Forestal Intensivo; SSPT: SSP Temporario; SSP: Sistema Silvopastoril; AF: Agroforestal. En todos los casos, el porcentaje forestable fue de un 70%.

Años	Pino					Eucalipto				
	F	FI	SSPT	SSP	AF	F	FI	SSPT	SSP	AF
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
Uso ganadero (años)	3	5	7	13	16	2	3	6	9	10
Turno años	18	16	16	16	16	12	12	12	10	10
Uso ganadero (%)	17	31	44	81	100	17	25	50	90	100
Uso ganadero (%)	42	52	61	87	100	42	48	65	93	100

Clausura 

Pastoreo 

Sombra 

4.3 Características de los sistemas productivos ganaderos de Corrientes y Misiones

Los sistemas productivos ganaderos de las provincias de Corrientes y Misiones tienen características diferentes. En Corrientes, la ganadería es practicada sobre distintos tipos de suelos, desde profundos hasta con anegamiento permanente, con relieve escasamente ondulado o completamente planos. Poseen una larga tradición ganadera, principalmente de cría. Predominan pastizales y aguadas naturales, con escasa superficie con pasturas y la mayoría con infraestructura para la ganadería. La limitante para el desarrollo de SSP no es la superficie de los establecimientos sino el capital circulante; cuando está asegurado el capital a invertir es cuando mayor aceptación tienen estos sistemas. Al existir infraestructura ganadera, el sombreado de los pastizales no afecta al sistema, ya que se puede trasladar animales a otro potrero, o disminuir la carga animal momentáneamente sin que se modifique significativamente el resultado final (Sistemas Silvopastoriles Temporarios).

En cambio, el sistema productivo de Misiones se basa en propiedades más pequeñas, con suelos con marcadas pendientes, más fértiles, provenientes de desmontes, y con escasa infraestructura para la ganadería e imposibilidad de abrevar su ganado en los arroyos, debido a la predisposición a la erosión y la contaminación. Al no existir tradición ganadera, tanto los productores como el personal tienen una elemental capacitación en el manejo ganadero. Por otro lado, debido a las condiciones ecológicas más favorables, el crecimiento de las pasturas (todas son implantadas) y de los árboles es

muy superior al de Corrientes. Al ser la superficie predial la limitante, las especies forestales a utilizar deben producir maderas de grados superiores de calidad. El manejo de la sombra es estricto, ya que ésta no puede afectar el crecimiento de las pasturas. La ganadería debe ser una actividad productiva en sí misma y, en ciertos casos, proveedora de material para compostar con destino a abonos orgánicos de cultivos industriales o intensivos que se realicen en el mismo predio.

Hay una fuerte tendencia en Corrientes a desarrollar SSP partiendo de una menor densidad de plantación y utilizando configuraciones en líneas apareados con callejones de 12 metros, especialmente con pino híbrido, con tres niveles de poda, hasta los 5,5 metros de altura, y dos raleos (uno no comercial o “perdido,” y otro comercial). En la Figura 5 se describe la evolución de la densidad de árboles con este manejo.

A diferencia de los anteriores, los SSP en Misiones parten de una densidad mayor de árboles, se realizan tres podas (hasta los 6 metros), un raleo perdido y cuatro comerciales, cortando los árboles en función del sombreadamiento y no de la competencia forestal. El pino híbrido en este caso también es sugerido por su arquitectura de copa, no así el pino Taeda que por el grosor y longitud de sus ramas dificulta el manejo del sombreadamiento. En la Figura 5 se resume el manejo de SSP en predios de menor escala en Misiones.

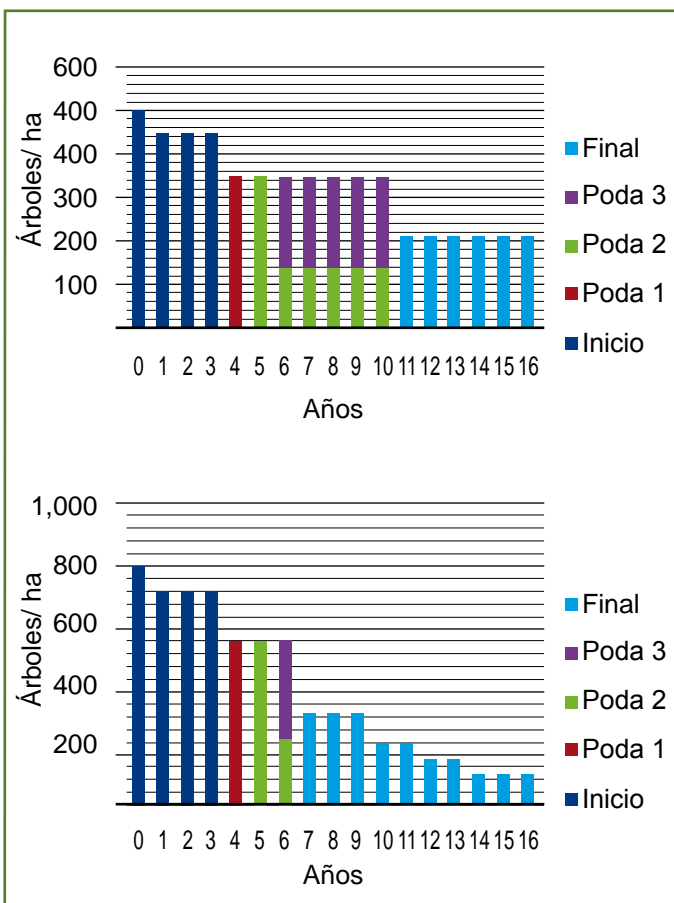


Figura 5. Manejo SSP con líneas apareados en Corrientes (arriba) y con raleos intensivos en Misiones (abajo). Evolución de la densidad de árboles e intervenciones silvícolas en función a la edad de los pinos. Fuente: Esquivel (2014), elaboración propia con información de SSP de Misiones y Corrientes.

Avanzando en el análisis económico, y considerando las restricciones que se deben tener en cuenta al complementar dos o más actividades productivas, la programación lineal es una herramienta apropiada para dicho análisis, más expeditiva que los cálculos financieros tradicionales (Céspedes Trujillo 2005, De Mello et al. 2005, Berger 2006).

La elección de las especies forestales a plantar y del manejo a realizar en los SSP difiere mucho de la que se obtendría en forestaciones puras sin tener en cuenta las restricciones ganaderas. Lo mismo ocurre al considerar el capital circulante, ya que tal como se observó en los Cuadros 4 y 5 por unidad de dinero invertido, el retorno de los SSP es mayor que en el forestal. Si a su vez se tiene en cuenta la receptividad de los potreros de pastoreo, los requerimientos de los animales, la posibilidad de realizar cultivos intercalares, las limitaciones en la cantidad de hectáreas a forestar, etc., a través de Programación Lineal es factible conocer la solución óptima, el costo de oportunidad de los recursos limitantes y el costo de sustitución de las actividades no seleccionadas por la solución planteada.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Desde la instalación, en Corrientes y Misiones, de los primeros SSP a la fecha pasaron más de 20 años. Los grupos interdisciplinarios que se conformaron, promovidos tanto por el interés individual de sus integrantes como por el apoyo de las instituciones involucradas con la temática, representan una fortaleza para la continuidad y el valor de los resultados logrados.

La región tiene ventajas comparativas y competitivas superiores a otras regiones de la Argentina, con un gran potencial para expandir en forma armónica la frontera forestal e incrementar la eficiencia ganadera a través de los SSP, sin competir entre ambas actividades. Se dispone de tecnología y antecedentes que permiten sustentar una expansión de los SSP en diferentes escalas productivas, desde las pequeñas chacras hasta los niveles empresariales.

El impacto de los SSP en Corrientes y Misiones se presenta como altamente promisorio sobre el medio social -en especial por mayores ingresos a nivel predial y la generación de fuentes de trabajo genuinas-, el ambiental -por la sostenibilidad de los recursos- y la economía de los territorios -por la generación de productos con un valor diferencial actual o futuro y por el uso eficiente de los recursos.



Brachiara bryzantha bajo *Pinus taeda* en establecimiento Las Mercedes, Misiones, Argentina.
Foto: F. Montagnini.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaráz, A. 2006. La navegación y las actividades económicas en el Alto Paraná (1880-1920). Montecarlo, Cooperativa Eléctrica de Montecarlo Limitada (CEML). 120 p.
- Andrade, C; Carneiro, J; Valentim, J. 2002. Efeito do sombreamento sobre as taxas de acumulação de matéria seca de quatro gramíneas forrageiras. Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia 39.
- Barth, S. 2014. Comunicación personal.
- Benvenuti, M; Pavetti, D; Pérego, J; Correa, M. 1997. Evaluación de especies forrajeras en distintos niveles de iluminación bajo monte forestal de pino. Curso de capacitación Suplementación en Ganadería, Eldorado, Misiones, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Benvenuti, M; Pavetti, D; Correa, M; Pérego, J. 2000. Evaluación de especies forrajeras gramíneas tropicales, en distintos niveles de iluminación bajo monte forestal de pino, para uso en sistemas foresto-ganaderos. Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Cerro Azul, INTA. 18 p.
- Berger, A. 2006. Efecto de variaciones en la relación de precios del ternero y del novillo sobre la integración y el resultado de diferentes planteos ganaderos. Asociación Argentina Economía Agraria, Mimeo. 21 p.
- Cabrera, A. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *En*: Cozzo, D. (Ed.). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Segunda Edición, Tomo II. Buenos Aires, Acme. 85 p.
- Caniza, F. 2010. Efecto de los estados de competencia post-raleo en los caracteres de importancia de la madera del *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden para uso sólido. Tesis MS. Eldorado, Misiones, Argentina, Facultad de Ciencias Forestales (FCF), Universidad Nacional de Misiones (UNaM). 151 p.
- Carbonell de Masy, R. 1992. Técnicas y tecnologías apropiadas. Pp. 135-160 *En*: Carbonell de Masy, R. (Ed.). Estrategias de desarrollo rural en los pueblos Guaraníes. Barcelona, España, Editorial Antoni Bosch. 514 p.
- Céspedes Trujillo, N. 2005. *En*: Programación Lineal: su aplicación a los negocios agropecuarios. La Habana, Cuba, Editorial Universitaria del Centro Universitario Las Tunas. 55 p.
- Colcombet, L; Lacorte, S; Fassola, H; Pachas, N; Ferrere, P; Alegranza, D. 2002. Resultados iniciales de un sistema silvopastoril en el Norte de Misiones, Argentina, entre *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (F2) y *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf. 5as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones, Argentina, FCF, UNaM, EEA Montecarlo. 8 p.
- Cordel, J; Simard, S; Bauhus, J; Seely, B; Prescott, C; Hampel, H. 2008. The influence of nurse-trees on biomass production and allocation in understory plantings of *Toona ciliata* Roem. in Argentina. Process controlling productivity in tropical plantations. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO). [Porto Seguro, Bahía, Brasil, 10-14 nov. 2008]. p. 55-56.
- Cruz, P. 1997. Effect of shade on the growth and mineral nutrition of a C4 perennial grass under field conditions. *Plant and Soil* 188:227-237.
- De Mello, A; Carnieri, C; Arce, J; Sanquetta, C. 2005. Planejamento florestal visando à maximização dos lucros e a manutenção do estoque de carbono. Universidade Federal de Lavras, CERNE 11(3):205-217.

- Di Blasi, A. 1989. Experiencia sobre la evolución de cuatro variedades de cubiertas verdes y su influencia sobre el crecimiento del pino recién implantado. Pp 136-137. *En*: Actas, Jornadas Técnicas: Uso múltiple del bosque y sistemas agroforestales, Tomo II. Eldorado. Misiones, FCF, UNaM.
- Dimitri, MJ. 1979. Las áreas argentinas de bosques naturales. Pp. 6-16 *En*: Cozzo, D. (Ed.). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Segunda Edición, Tomo II. Buenos Aires, Acme. 85 p.
- Esquivel, J; Lacorte, S. 2010. Sistemas silvopastoriles con especies maderables en la República Argentina. VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. [Panamá, Panamá, 28-30 sept. 2010]
- Esquivel, J. 2013. Comunicación personal.
- Fassola, H; Ferrere, P; Lacorte, S; Rodríguez, A. 2002. Predicción de la producción de un pastizal bajo distintas estructuras de canopia de *Pinus taeda* en el noreste de Corrientes, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, INTA 31(2):73-96.
- Fassola, H; Lacorte, S; Pachas, N; Pezzuti, R. 2005. Factores que influyen la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* Valls, bajo dosel de *Pinus taeda* L. en el nordeste de Corrientes, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, INTA 34(3):21-38.
- Fassola, H; Crechi, E; Videla, D; Keller, A. 2007. Estudio preliminar del rendimiento en el aserrado de rodales con distintos regímenes silvícolas de *Pinus taeda* L. Actas, 13as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM, INTA [Eldorado, Misiones, Argentina, 2007]. p. 7.
- Fassola, H; Lacorte, S; Pachas, A; Goldfarb, C; Esquivel, J; Colcombet, L; Crechi, E; Keller, A; Barth, S. 2009. Los sistemas silvopastoriles en la región subtropical del NE argentino (en línea). Actas, XIII Congreso Forestal Mundial. [Buenos Aires, Argentina, 18-23 oct. 2009] p. 1-6. Disponible *En*: http://inta.gob.ar/documentos/los-sistemas-silvopastoriles-en-la-region-subtropical-del-ne-argentino/at_multi_download/file/INTA-sistemas-silvo-NE-argentino.pdf
- Fassola, H; Videla Galaret, D; Winck, R; Area, M; Crechi, E; Keller, A; Maestri, G; Mastropaolo, J. 2014. Relación entre métodos acústicos con propiedades anatómicas y físico mecánicas de *Pinus taeda* L. sometido a raleos. Actas, XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales: Ecología y Biodiversidad Forestal. FCF, UNaM, INTA. [Eldorado, Misiones, Argentina, 15-17 mayo 2014]. p. 611-618.
- Frangi, J. 2008. ¿Qué corno son los ciclos de nutrientes y qué pito tocan el N y el P? Conferencia, Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA), Universidad Nacional de la Plata (UNLP), FCF, UNaM. [Eldorado, Misiones, Argentina, 11 nov. 2008].
- Goldfarb, M; Lacorte, S; Giménez, L; Núñez, F; Fassola, H; Pachas, A; Pinazo, M. 2007. Producción animal en sistemas silvopastoriles del norte de Corrientes. 5ta Reunión de Producción Vegetal y 3ta de Producción Animal del noroeste argentino (NOA). [San Miguel de Tucumán, Argentina, 26-27 abr. 2007].
- Goldfarb, M; Lacorte, S; Giménez, L; Núñez, F; Fassola, H; Pachas, A; Pinazo, M. 2007. Efecto del sombreado sobre la disponibilidad forrajera y composición botánica del pastizal en sistemas silvopastoriles. IV Congreso Nacional para el manejo de pastizales naturales y I del Mercado Común del Sur (MERCOSUR). [Villa Mercedes, San Luis, Argentina, 9-10 ago. 2007]. p. 66.
- Goldfarb, M; Lacorte, S; Esquivel, J; Aparicio, J; Giménez, L; Núñez, F; Quirós, O. 2009. Producción forrajera en un sistema silvo pastoril con diferentes esquemas de plantación II. Pastizal de *Andropogon lateralis*. I Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles [Posadas Misiones, Argentina, 14-16 mayo 2009]. p. 350.

- Goldfarb, M; Lacorte, S; Esquivel, J; Aparicio, JL; Giménez, LI; Núñez, F; Quirós, O. 2009a. Producción forrajera en un sistema silvopastoril con diferentes esquemas de plantación. I. *Brachiaria brizantha* cv. Marandú II. I Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. [Posadas, Misiones, Argentina, 14-16 mayo 2009]. p. 346.
- Goldfarb, M; Esquivel, J; Giménez, L. 2010. Caracterización de los componentes forrajeros, arbóreos y ganaderos en modelos silvopastoriles difundidos en la Mesopotamia Argentina (en línea). Actas, VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. [Panamá, Panamá, 28-30 sept. 2010] Disponible En: http://www.cipav.org.co/red_de_agro/Panama2010.html
- Goldfarb, M; Esquivel, J; Núñez, F; Quirós, O. 2013. Variación en la humedad gravimétrica en suelos arenosos forestados con pino híbrido. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano [Iguazú, Misiones, Argentina, 28-30 sept. 2010].
- Goldfarb, M; Núñez, F; Quirós, O; Aranda, R. 2014a. Producción forrajera de *Brachiaria brizantha* cv Marandú en un sistema agroforestogadero de pino híbrido F2. XXXVII Congreso Argentino de Producción Animal [Buenos Aires, Argentina, 20-22 oct. 2014].
- Goldfarb, M; Núñez, F; Quirós, O; Aranda, R. 2014b. Producción radical de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú en un sistema agroforestogadero de Pino Híbrido F2. Aceptado en: XXXVII Congreso Argentino de Producción Animal [a realizarse en ciudad de Buenos Aires, 20-22/Octubre/2014].
- Goldfarb, M; Núñez, F; Quirós, O; Aranda, R. 2014c. Luz incidente bajo el dosel arbóreo en un sistema agroforestogadero de pino híbrido F2. XXXVII Congreso Argentino de Producción Animal [Buenos Aires, Argentina, 20-22 oct. 2014].
- Goldfarb, M; Esquivel, J; Núñez, F; Quirós, O; Aranda, R. 2014d. Descripción del componente forrajero en un sistema agroforestogadero de *Eucalyptus grandis*. XXXVII Congreso Argentino de Producción Animal [Buenos Aires, Argentina, 20-22 oct. 2014].
- Harvey, C; Alpizar, F; Chacón, M; Madrigal, R. 2005. Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America. Historical overview and future perspectives. Mesoamerican and Caribbean region, Conservation Science Program. San José, Costa Rica, The Nature Conservancy (TNC). 138 p.
- Keller, H. 2001. Etnobotánica de los guaraníes que habitan la selva misionera (en línea). Instituto de Botánica del nordeste (UNNE). Disponible En: <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2001/6-Biologicas/B-008.pdf>.
- Kozarik, J; Ruiz, J. 1978. Efecto de la cobertura verde en el crecimiento volumétrico de una plantación de *Pinus elliotii* en Misiones. Celulosa Argentina, S.A., Puerto Piray, Misiones, Argentina. 4 p.
- Kozarik, J; Varela, H. 1989. Resultados obtenidos al cuarto año de implantada una cobertura verde con *Pinus elliotii* en Misiones. Actas, V Jornadas Técnicas, FCF, UNaM. [Eldorado, Misiones, Argentina, 1989]. Página 52.
- Lacorte, S. 2001. Árboles fuera del bosque en la República Argentina. Proyecto información y análisis para el manejo forestal sostenible: integrando esfuerzos nacionales e internacionales en 13 países tropicales en América Latina. p. 4-14.
- Lacorte, S; Fassola, H; Domecq, C; San José, M; Hennig, A; Correa, M; Ferrere, P; Moscovich, F. 2003. Efecto del pastoreo en el crecimiento de *Grevillea robusta* Cunn. y la dinámica del pastizal en Misiones, Argentina. Revista de Investigaciones Agropecuarias 32(2):79-97.
- Lacorte, S; Fassola, L; Pachas, N; Colcombet, L. 2004. Efecto de diferentes grados de sombreado con y sin fertilización fosfórica, sobre la producción de un pastizal modificado con predominio de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. en el sur de Misiones, Argentina. Actas, XI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. [Eldorado, Argentina, 2004]. p. 1-9.

- Lacorte, S; Hennig, A; Domecq, C; Pachas, A; Fassola, H; Keller, A. 2006. Intersiembra de leguminosas forrajeras cultivadas en pastizales bajo dosel arbóreo de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en el sur de Misiones, Argentina. XII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM, INTA. [Eldorado, Misiones, Argentina, 8-10 jun. 2006]. p. 17.
- Lacorte, S; Esquivel, J. 2009. Sistemas silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina. Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción. 1er Congreso nacional de sistemas silvopastoriles. [Posadas, Misiones, Argentina, 14-16 mayo 2009]. p. 70-82.
- Lacorte, S; Domecq, C; San José, M; Hennig, A; Fassola, H; Pachas, A; Colcombet, L; Hampel, H; Espíndola, F. 2009. 1er Congreso nacional de sistemas silvopastoriles. [Posadas, Misiones, Argentina, 14-16 mayo 2009]. p. 400-411.
- Lacorte, S. 2014. Perspectivas de la ganadería bovina misionera. Revista Braford 74:32-34.
- Ligier, D. 2002. Análisis ambiental-productivo de sistemas alternativos a la ganadería en la provincia de Corrientes. Memorias, XIX Reunión de Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur. Zona Campos. [Mercedes, Corrientes, Argentina, 22-24 oct. 2002]. p. 60-66.
- Montagnini, F; Nair, PK. 2004. Carbon Sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. Agroforestry Systems 61:281-295.
- Morales, A. 1984. Coberturas verdes en *Pinus elliottii*. Celulosa Argentina, S.A., Puerto Piray, Misiones. 2 p.
- Navajas, S; Lacorte, S.; Fahler, J; Casanova, D. 1992. Pastoreo de pasto elefante cv. "Panamá" (*Pennisetum purpureum* Schum.) bajo cubierta de un monte de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* en el NE de Corrientes. Yvyrareta 3(3):72-78.
- Pachas, N; Keller, A; Fassola, H; Lacorte, S; Pinazo, M. 2004. Producción, morfología y calidad nutritiva de *Axonopus catarinensis* Valls bajo diferentes condiciones lumínicas e hídricas. XI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM, INTA, EEA Montecarlo. [Eldorado, Misiones, Argentina, 7-9 oct. 2004].
- Pachas, A; Colcombet, L; Correa, M; Henning, H. 2008. Producción forrajera de *Axonopus catarinensis* Valls bajo diferentes densidades de *Eucalyptus grandis* en sistemas silvopastoriles. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM, INTA, EEA Montecarlo. [Eldorado, Misiones, Argentina, 5-7 jun. 2008].
- Pachas, A. 2010. *Axonopus catarinensis* y *Arachis pintoii*: Alternativas forrajeras en sistemas silvopastoriles de la provincia de Misiones, Argentina. Tesis MS. Escuela para Graduados Ingeniero Agrónomo Alberto Soriano, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 99 p.
- Papadakis, J. 1974. Ecología, posibilidades Agropecuarias de las Provincias Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Buenos Aires, Acme. 82 p.
- Pavetti, D; Benvenuto, M. 2003. Jornada de presentación Jesuita Gigante. Jardín América, Misiones, Argentina INTA, EEA Cerro Azul.
- Pavetti, D; Benvenuto, M; Moreno, F. 2004. Memoria Anual Año 2004. Misiones, Argentina, INTA Centro Regional. p. 31-35.
- Pérego, J. 2002. Sistemas Silvopastoriles en el Centro Sur de la Provincia de Corrientes. Memorias, XIX Reunión de Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur. Zona Campos. [Mercedes, Corrientes, Argentina, 22-24 oct. 2002].
- Rosner, M; Guerrero, D; Domínguez, M. 2009. Evaluación de Técnicas de Multiplicación de *Axonopus catarinensis* Valls para Implantación en Sistemas Silvopastoriles. Actas, 1er. Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Aspectos relacionados a pastizales y especies forrajeras. [Posadas, Misiones, Argentina, 14-16 mayo 2009]. p. 1-3.

- Rossner, M; Goldfarb, M; Lacorte, S. 2010. *Chamaecrista rotundifolia* - an outstanding legume in silvopastoral systems. XXVI Buiatrics Congress. [Santiago de Chile, Chile, 15 nov. 2010].
- SIFIP. 2010. Sistema de Información Foresto Industrial de la Provincia de Misiones (en línea). Disponible En: <http://extension.facfor.unam.edu.ar/sifip/index.html>
- Skromeda, M. 2013. Efecto de diferentes niveles de sombreado sobre la implantación y persistencia productiva de forrajeras en sistemas silvopastoriles. Tesis. Corrientes, Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). 45 p.
- Sotomayor, G; Moya, I; Teuber, O. 2009. Manual de establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles en zonas patagónicas de Chile. Instituto Forestal de Chile (INFOR). 46 p.
- Valls, J; Santos, S; Tcacenco, F; Galdeano, F. 2000. Grama missioneira gigante: híbrido entre duas forrageiras cultivadas do gênero *Axonopus* (Gramineae). In: Congresso nacional de genética 46, Águas de Lindóia 23. P. 388.
- Varella, A; Ribas, K; Silva, V; Soares, A; Moraes, A; Morais, H; Saibro, J; Barro, R; Poli, C; Paulino, B. 2008. Recomendações para a escolha e manejo de plantas forrageiras em sistemas silvipastoris no sul do Brasil. Bagé, Río Grande do Sul, Brasil, Embrapa Pecuaria Sul. p. 11-20.
- Winck, R. 2013. Influencia del raleo sobre las características anatómicas de la madera y las propiedades físico-mecánicas del *Pinus taeda* L. de la región NE de la Argentina. Tesis M.S. Eldorado, Misiones, Argentina, FCF, UNaM.
- Winck, R; Fassola, H; Tomazello, M; Area, M. 2013. Case Study: Microfibril angle and its relationship with basic density in *Pinus taeda* L. wood from silvopastoral systems. Revista O Papel 74(5):55-61.



Pastoreo de vaquillas en plantación de *Pinus taeda* y pasto jesuita gigante *Axonopus catarinensis*. Andresito, Misiones. Foto: Walter Galindo, CIPAV 2014.

SEGUNDA PARTE:

SAF ORGÁNICOS, COMPROMISO ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS



Capítulo 6

LA PRODUCTIVIDAD ÚTIL, LA MATERIA ORGÁNICA Y EL SUELO EN LOS PRIMEROS 10 AÑOS DE EDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ A PLENO SOL Y BAJO VARIOS TIPOS DE SOMBRA Y NIVELES DE INSUMOS ORGÁNICOS Y CONVENCIONALES EN COSTA RICA

Elías de Melo Virgínio Filho^{1*}, Fernando Casanoves¹, Jeremy Haggard², Charles Staver³, Gabriela Soto⁴, Jacques Avelino⁵, Ana Tapia⁶, Marvin Merlo¹, Jhenny Salgado¹, Martin Noponen^{1,7}, Yuliney Perdomo⁸, Ana Vásquez¹

¹Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

²Universidad de Greenwich

³Bioversity International

⁴Universidad Nacional de Costa Rica

⁵Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD)

⁶Universidad de Costa Rica

⁷Universidad de Bangor

⁸Universidad de Tolima

*Correo electrónico: eliasdem@catie.ac.cr

RESUMEN

Frente a vacíos importantes de información sobre interacciones agroecológicas en la producción de café agroforestal, se estableció (año 2000) un ensayo de largo plazo que evalúa 20 arreglos de sistemas agroforestales (SAF) y Pleno Sol con diferentes niveles de insumos orgánicos y convencionales. El conocimiento generado posibilita entender cómo diseñar y manejar SAF que equilibren productividad y sostenibilidad. En 10 años, 15 tipos de SAF han permitido importantes niveles de productividad de café. Los SAF (manejos Alto Convencionales, AC) con *Erythrina poeppigiana* (poró) y *E. poeppigiana* + *Chloroleucon eurycyclum* (cashá) fueron los que tuvieron las más altas producciones de café, aunque el último no fue diferente estadísticamente de otros 8 SAF que igualmente tuvieron resultados muy buenos. El SAF con *E. poeppigiana* AC fue estadísticamente igual que el café a Pleno Sol AC. La menor productividad la tuvo el SAF con *Terminalia amazonia* (amarillón) en manejo Bajo Orgánico (BO). De los arreglos estudiados, 19 presentaron rentabilidad positiva. En productividad de madera se destacaron los SAF con cashá con manejo Orgánico Intensivo (MO) y Moderado Convencional (MC) y los SAF con amarillón con manejo AC. Las variedades de café Costa Rica 95 y los híbridos Centroamericano y Milenio, con poró MC y BO, permiten productividad muy alta con costos más bajos. El rango de sombra en los SAF que permitió los mejores resultados de productividad de café fue 45 a 54%. Los SAF con *E. poeppigiana* han permitido producción total de biomasa muy altos (>10.000 kg ha⁻¹). Los SAF MO fueron eficaces para evitar la acidificación de los suelos y mejorar sus propiedades físicas y químicas. Los SAF incrementaron la abundancia y biomasa de lombrices, contrario al Pleno Sol AC, donde los valores fueron bajos. Todos los SAF capturaron y almacenaron grandes cantidades de carbono y compensaron las emisiones de gases de efecto invernadero. En cambio, los sistemas a Pleno Sol emitieron más de lo que capturaron. La diversidad de aves y en particular la actividad de percha y sobrevuelo fueron mayores en los SAF que a Pleno Sol. Independientemente de la especie de sombra, el manejo AC reduce la diversidad de hierbas, mientras que los SAF con poró + cashá con manejos MC y MO presentaron la mayor diversidad de hierbas. Las menores incidencias del hongo de la roya, *Hemileia vastatrix*, ocurrieron en los sistemas a Pleno Sol AC y poró MO y AC. Las menores incidencias del hongo *Cercospora coffeicola* sucedieron en poró con maderables (MO, BO, MC) y sola (BO, MC).





1. INTRODUCCIÓN

La producción de café en todo el mundo ocurre en una gran variedad de formas adaptadas a las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de los territorios. Se reconoce la existencia de, al menos, cuatro grandes tipologías de producción cafetalera (Moguel y Toledo 1999): café a pleno sol, café con sombra especializada, café con sombra mixta, café con sombra rústica. Existen notorias diferencias entre países en el porcentaje del área de café cultivado a pleno sol o bajo diferentes tipos de sombra (Somarriba et al. 2012). Estudios recientes muestran la necesidad de analizar el comportamiento productivo y la calidad del suelo en una amplia gama de tipologías de producción cafetalera basadas en el uso (o no) de varios tipos de especies para sombra (maderables o de servicios, leguminosas fijadoras de nitrógeno), manejado con diferentes niveles de insumos orgánicos y convencionales. El entendimiento integral de los componentes e interacciones de los sistemas productivos es determinante para diseñar y manejar la producción sostenible con uso de insumos tanto orgánicos como convencionales (Hagggar et al. 2001, Gliessman 2002). Los sistemas agroforestales con café tienen el potencial para armonizar objetivos de producción y ambientales, todo esto vinculado a la posibilidad de propiciar mayor diversificación de productos, integración de los SAF en el paisaje como corredores biológicos para fauna y flora, almacenamiento y captura de carbono, microclima adecuado para el cultivo de asocio y/o animales, reciclaje de nutrientes de los árboles a partir de la biomasa, mayor equilibrio entre organismos vivos, reducción de la dependencia de insumos externos, y una mejor posibilidad de adaptación al cambio climático (Virginio Filho et al. 2013).

Entre el final de los años 90 y el año 2003 la caficultura, y en particular la centroamericana, experimentó los más bajos precios de las últimas décadas pagados a los productores por la venta del café (Flores et al. 2002). Esto puso en jaque a los modelos de producción basados en alta dependencia de insumos sintéticos externos (Haggar 2005) con problemas de rentabilidad ante los bajos precios y con fuertes críticas sociales por sus impactos negativos por la contaminación de suelos y aguas por mal uso de agroquímicos y residuos del proceso de beneficiado. Por otro lado, los sistemas de producción de escaso uso de insumos externos, manejos orgánicos o naturales en pocas oportunidades presentaban una alternativa, que además de su contribución ambiental, podría ser también productiva y económicamente viable (Haggar et al. 2001). Se encontró que no había estudios de largo plazo (más de 15 años) comparando interacciones agroecológicas en diferentes sistemas de producción agroforestal de café (Leiva 1997, Haggar 2005).

Entre los años 1999 y 2000, luego de un intenso proceso de análisis, un grupo interdisciplinario de científicos de CATIE y CIRAD, con la colaboración de técnicos del Instituto del Café de Costa Rica y de la Universidad de Costa Rica, definieron las bases para un estudio de largo plazo, mínimo 20 años, comparando diferentes sistemas de producción agroforestal con el cultivo de café, en contraste con condiciones de plena exposición solar. En el año 2000 se establecieron dos experimentos de largo plazo en condiciones agroecológicas contrastantes, evaluando diferentes sistemas de producción de café a pleno sol o bajo diferentes tipos de sombra (leguminosas de servicio, maderas fijadoras o no de nitrógeno) y diversos niveles de insumos orgánicos y convencionales. Ambos experimentos evalúan la evolución en el tiempo de la productividad útil (café, madera, leña, frutas) y la calidad del suelo, con información detallada sobre ciclaje de biomasa y nutrientes, macrofauna y fertilidad del suelo. Los datos de productividad se complementan con registros detallados de la evolución intra- e inter-anual del complejo de plagas, enfermedades y malezas que afectan el cafetal.

Uno de los experimentos está establecido en la finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica, una región cafetalera de baja altitud (600 msnm) y alta precipitación pluvial (3200 mm anuales en el período de vida del experimento). El otro experimento está establecido en Masatepe, Nicaragua, en una región cafetalera de baja altitud (450 msnm) y baja precipitación (1600 mm anual; Haggar et al. 2001, Haggar 2005). Como objetivos principales se definieron: 1) evaluar efectos de las especies de sombra, niveles y tipos de insumos, y las variedades de café sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del café, la dinámica de plagas, flora y fauna y los ciclos de nutrientes y materia orgánica; 2) medir el crecimiento y desarrollo de los doseles de sombra en términos de acumulación de biomasa, producción de leña y madera y producción de hojarasca y su efecto sobre el microclima, biología del suelo y materia orgánica; 3) desarrollar métodos para la identificación de sinergismos (asociados a factores ambientales, cultivo de café y de los árboles) y la evaluación de la sostenibilidad económica, ecológica y productiva de los sistemas de producción de café (Virginio Filho et al. 2012). En este trabajo se presentan resultados de los primeros diez años de vida del experimento establecido en el CATIE.

2. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

2.1 Ubicación y suelo del sitio experimental

El experimento fue establecido en un área total de 9,2 ha en agosto de 2000, en la finca experimental de CATIE, Turrialba, Costa Rica (9° 53' 44" N, 83° 40' 7" O), con una altitud de 600 m y con los siguientes datos meteorológicos promedio (2000-2011): precipitación de 3.037 mm año⁻¹, temperatura de 22 °C, humedad relativa de 89,6% y radiación solar de 15,7 Mj m⁻².

Los suelos son aluviales mixtos (Ultisoles e Inceptisoles) con textura franca a franco-arcillosa con camada más fértil variando de 10 a 30 cm de profundidad (Virginio Filho et al. 2012). Las condiciones de suelo iniciales eran críticas ya que presentaba un histórico de uso intensivo de pastos y caña de azúcar, con limitantes en el drenaje y alta acidez (pH 5,4). En el primer año del establecimiento del ensayo se mejoró y se amplió la red de drenaje, se utilizó sombra temporal del café con higuera (*Ricinus* sp.) en las parcelas orgánicas, se controlaron las malezas, se corrigió la acidez del suelo con encalado y se hicieron importantes aportes de enmiendas orgánicas a base de pulpa de café, gallinaza y bocashi (en el manejo orgánico intensivo MO = 27,5 Mg ha⁻¹; en el manejo bajo orgánico BO = 20 Mg ha⁻¹).

2.3 Diseño y manejo del experimento

Los sistemas de producción cafetalera incluidos en el experimento son a pleno sol y con sombra. Los sistemas con sombra, a su vez, incluyen tres especies arbóreas, solas o en combinaciones de dos especies. Las especies arbóreas incluyen fijadoras y no-fijadoras de nitrógeno atmosférico, maderables o leguminosas que sólo proveen sombra: *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, familia Fabaceae (poró), presente en la mayoría de los cafetales de Costa Rica, *Chloroleucon eurycyclum* Barneby & J.W. Grimes (cashá), familia Fabaceae, y *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell, familia Combretaceae (amarillón; Cuadro 1).

Los árboles se plantaron inicialmente a 6 m x 4 m. Las parcelas de cada tratamiento de sombra se sub dividieron en dos tipos (orgánicos y convencionales) y dos niveles de cada tipo (moderado y alto). El diseño experimental es un factorial incompleto (los dos niveles de insumos no están presentes en todos los tratamientos de sombra), en parcelas divididas, plantadas en tres bloques completos al azar (Cuadro 2).

Hay dos sub-tratamientos orgánicos, el primero, llamado **orgánico intensivo (MO)** busca el máximo rendimiento en la producción de café con la utilización de altos niveles de insumos y tecnologías orgánicas. Por otro lado, se cuenta con un sub-tratamiento **bajo orgánico (BO)** con mínimos aportes de insumos y prácticas orgánicas. El manejo convencional tiene también dos niveles de insumos: el **alto convencional (AC)** donde se utiliza altos aportes de insumos químicos y técnicas convencionales para maximizar la producción y el **moderado convencional (MC)** que orientado a mayor eficiencia productiva utiliza cantidades moderadas de insumos químicos y técnicas convencionales con prácticas agroecológicas (cobertura del suelo, manejo regulado de sombra; Cuadro 3).

Cuadro 1. Especies del ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica.

Nombre científico	Nombre común	Fenología	Tipo de copa	Fijador de N	Uso principal
<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F. Cook	Poró	Siempreverde	Alta, estrecha y abierta	Sí	Servicio
<i>Chloroleucon eurycyclum</i> Barneby & J.W. Grimes	Cashá	Caducifolio a partir de 5 años (1 mes en período seco) Inicia defoliación en febrero	Alta, ancha y abierta	Sí	Madera
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F. Gmel.) Exell	Amari-llón	Caducifolio a partir de 5 años (1 mes en período seco) Inicia defoliación en mayo	Baja, estrecha y compacta	No	Madera

Cuadro 2. Tratamientos principales y sub-tratamientos en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. AC: Alto Convencional; MC: Moderado Convencional; MO: Orgánico Intensivo; BO: Bajo Orgánico.

Parcelas principales (tratamientos sombra y sol)	Sub-parcelas (Manejos)			
	AC	MC	MO	BO
<i>Erythrina poeppigiana</i> (poró; E)				
<i>Chloroleucon eurycyclum</i> (cashá; C)				
<i>Terminalia amazonia</i> (amarillón; T)				
C + E (CE)				
E + T (ET)				
C + T (CT)				
Pleno Sol (PS)				

En cuanto al manejo de los árboles se implementó la poda de formación del tronco en los árboles maderables en libre crecimiento, y poda regulada de poró con crecimiento limitado en altura baja y/o intermedia. Para amarillón se podaban las ramas más bajas a cada año, hasta que los árboles superaron los 8 m de altura. Para cashá igualmente se hacía poda de ramas más bajas, pero además por la tendencia de bifurcación del tronco se mantuvieron las eliminaciones de hijos que podrían derivar en diferentes troncos. En los manejos AC (Alto Convencionales) el poró se poda drásticamente dos veces al año a más o menos 2 m de altura, mientras en los manejos MC (Moderado Convencional), MO (Orgánico Intensivo) y BO (Bajo Orgánico) se combinan árboles con poda drástica a 2 m con árboles de poda regulada a 4,5 m (formando paraguas), igualmente con dos regulaciones al año. En los manejos MC, MO y BO se regula la entrada de luz pero nunca se elimina completamente la sombra, como se hace dos veces al año en el manejo AC. El poró tiene una alta capacidad de rebrotar después de la poda.

Cuadro 3. Tipos y niveles de manejo/insumos utilizados en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. AC: Alto Convencional; MC: Moderado Convencional; MO: Orgánico Intensivo; BO: Bajo Orgánico.

	Niveles de manejo			
	AC	MC	MO	BO
Tipos de fertilizantes (Enmiendas y foliares)	Químicos sintéticos	Químicos sintéticos	Orgánicos (gallinaza, pulpa de café, minerales)	Orgánico (pulpa de café)
Nivel de fertilizantes aplicados; aplicaciones	Altas dosis de fórmulas completas y nitrogenadas al suelo; 3 fertilizaciones foliares año ⁻¹	Dosis intermedias de fórmulas completas y nitrogenadas al suelo; 1 aplicación foliar año ⁻¹	Altas cantidades de enmiendas orgánicas (10 Mg ha ⁻¹ año ⁻¹) y 100 kg ha ⁻¹ año ⁻¹ de minerales. 3 aplicaciones año ⁻¹ de biofermentos foliares.	Baja cantidad de enmienda orgánica (5 Mg ha ⁻¹ año ⁻¹), sin aplicaciones de biofermentos
Manejo de hierbas del suelo	6 aplicaciones anuales de herbicida con suelo libre de hierbas	5 aplicaciones anuales de herbicida en la banda de fertilización de los cafetos. Se mantiene calle con cobertura regulada con chapeas (4).	4 chapeas anuales con manejo selectivo de buenas hierbas como cobertura.	4 chapeas anuales con manejo selectivo de buenas hierbas como cobertura.
Manejo de planta de café (Podas, resiembras)	Podas selectivas anuales por tallo planta ⁻¹ . Resiembras anuales.	Podas selectivas anuales por tallo planta ⁻¹ . Resiembras anuales.	Podas selectivas anuales por tallo planta ⁻¹ . Resiembras anuales.	Podas selectivas anuales por tallo planta ⁻¹ . Resiembras anuales.
Control de enfermedades del café	2-3 aplicaciones anuales de fungicidas	1-2 aplicaciones anuales de fungicidas	Según incidencia	No se hace control
Control de plagas insectiles	Insecticidas químicos. Cosecha total de frutos y trampas atrayentes (broca).	Insecticidas químicos por focos. Cosecha total de frutos y trampas atrayentes (broca).	Insecticidas naturales por focos y control biológico. Cosecha total de frutos y trampas atrayentes (broca).	Cosecha total de frutos.
Manejo de los árboles	Poda de formación de los maderables en los primeros años. Podas drásticas (2) anuales de <i>E. poeppigiana</i> .	Poda de formación de los maderables en los primeros años. Podas moderadas (2) de <i>E. poeppigiana</i> .	Poda de formación de los maderables en los primeros años. Podas moderadas (2) de <i>E. poeppigiana</i> .	Poda de formación de los maderables en los primeros años. Podas moderadas (2) de <i>E. poeppigiana</i> .

La variedad principal de café en todos los sistemas fue la Caturra, seleccionada por estar presente en la mayoría de los cafetales de Costa Rica. La densidad de siembra es de 5000 plantas ha⁻¹ (2 m x 1 m). Luego se establecieron micro-parcelas en algunos sistemas con la variedad Costa Rica 95 y con 6 híbridos F1 (generados por el Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFÉ)-CIRAD-CATIE y los institutos de café de América Central). Entre los híbridos F1 se encuentran el Centroamericano y el Milenio que ya están liberados comercialmente. En el Cuadro 4 se resumen las principales características de las variedades de café presentes en el experimento.

Cuadro 4. Variedades de café presentes en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Fuente: elaborado en base a Vázquez (2013) y observaciones de campo.

Variedades	Productividad	Rusticidad	Resistencia a enfermedades	Calidad taza
Caturra	Buena	Regular	No tiene	Muy buena
Costa Rica 95	Muy buena	Buena	Resistencia a roya (<i>Hemileia vastatrix</i>). No tiene resistencia a ojo de gallo (<i>Mycena citricolor</i>)	Buena
Centroamericano (H1, L13A44)	Muy buena	Muy buena	Tolerante a la roya (<i>Hemileia vastatrix</i>)	Muy buena
Milenio (H10, L12A28)	Muy buena	Muy buena	Tolerante a la roya (<i>Hemileia vastatrix</i>)	Muy buena

2.4 Variables estudiadas

A lo largo del tiempo (20 años es la vida útil del ensayo) se registran los datos de crecimiento de cafetos y árboles, producción de café y de madera, transferencia de materia orgánica y nutrientes al suelo y sus efectos sobre la macrofauna y la fertilidad, la evolución de los complejos de plagas, enfermedades y malezas que dañan el café, el manejo agroforestal y los costos financieros. Los detalles metodológicos de los varios estudios reportados en este artículo se pueden revisar en la página web del ensayo (CATIE 2014).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Productividad de café

De forma general, se espera que los rendimientos de café en los primeros años sean los más altos del ciclo de vida de la plantación. Los rendimientos promedio en los primeros 10 años permiten verificar la conformación de tres grupos de sistemas según niveles de productividad (Cuadro 5). El grupo con los rendimientos de café más altos (50-52 quintales (qq) ha⁻¹ año⁻¹) incluye los sistemas a pleno sol y altos niveles de insumos convencionales. Sin embargo, aunque la introducción del árbol representa una reducción en el rendimiento promedio para cualquier nivel de insumos (Figura 1), algunos sistemas con sombra y altos niveles convencionales alcanzan rendimientos muy buenos, entre 42-46 qq ha⁻¹ año⁻¹. Los menores rendimientos (20-30 qq ha⁻¹ año⁻¹) se encontraron en los sistemas sombreados con maderables y bajos niveles de insumos orgánicos (Cuadro 5). La mayoría de los sistemas evaluados en el experimento alcanzaron rendimientos promedio superiores a los 25 qq ha⁻¹ año⁻¹.

Cuadro 5. Rendimiento promedio de café Caturra en ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica (2000-2010). Fuente: elaborado con datos de Salgado (2010).

Sistema de producción	Rendimiento promedio (qq * ha ⁻¹ año ⁻¹)	E.E. **			
E-AC (poró)	51,91	15,55	A		
AC (pleno sol)	51,65	52,28	A	B	
CE-AC (cashá + poró)	46,46	17,71	A	B	
MC (pleno sol)	41,75	52,28	A	B	C
T-AC (amarillón)	39,70	20,11		B	C
ET-MC (poró + amarillón)	36,88	10,11		B	C
T-MO (amarillón)	36,52	20,11		B	C
E-MO (poró)	31,99	15,80		B	C
C-MC (cashá)	31,90	7,13		B	C
E-BO (poró)	31,23	15,80		B	C
E-MC (poró)	30,58	15,80		B	C
CT-MC (cashá + amarillón)	30,26	14,47		B	C
C-MO (cashá)	28,92	7,13			C
T-MC (amarillón)	28,72	20,11			C
CE-MO (cashá + poró)	27,53	17,71			C
CE-BO (cashá + poró)	25,68	17,71			C
CE-MC (cashá + poró)	25,46	17,71			C
ET-MO (poró + amarillón)	24,27	10,11			C
CT-MO (cashá + amarillón)	23,72	14,47			C
T-BO (amarillón)	19,43	24,59			C

*qq = quintal café oro, 1 qq son 100 libras, equivalentes a aproximadamente 46 kg

**Error estándar, letras distintas corresponden a diferencias significativas (p ≤ 0,05)

3.2 Productividad maderable

Para los cinco primeros años del estudio los volúmenes de madera más altos ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) fueron alcanzados con la especie cashá en SAF con manejo Orgánico Intensivo ($36,44 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) y Moderado Convencional ($36,27 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$), seguido por el amarillón en manejo Alto Convencional ($33,40 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$). Los volúmenes más bajos fueron obtenidos por amarillón asociado con cashá en manejo Orgánico Intensivo ($9,76 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) y en manejo Moderado Convencional ($10,78 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$). Cuando las especies estaban asociadas entre sí de a dos con el café, amarillón siempre presentó los menores volúmenes, mientras que sola asociada al café alcanzó los volúmenes más altos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Volumen total e incremento medio anual de volumen total del fuste de los árboles maderables a los cinco años de edad en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Fuente: elaborado con base en datos de Merlo (2007).

SAF	Manejo	Volumen total VT ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	D.E*	Incremento medio anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)
Cashá	MO	36,44 ± 1,56	2,71	7,29
Cashá	MC	36,27 ± 3,69	6,39	7,25
Amarillón	AC	33,40 ± 6,71	11,62	6,68
Amarillón + Cashá	MO	22,46 ± 1,27	2,19	4,49
Amarillón	MC	22,14 ± 3,20	5,55	4,43
Amarillón	MO	21,77 ± 3,31	5,74	4,35
Amarillón	BO	21,66 ± 7,13	12,34	4,33
Cashá + Poró	MO	21,42 ± 2,72	4,71	4,28
Amarillón + Cashá	MC	21,15 ± 1,07	1,85	4,23
Cashá + Poró	BO	20,93 ± 2,47	4,27	4,19
Cashá + Poró	MC	19,11 ± 2,10	3,64	3,82
Cashá + Poró	AC	18,64 ± 1,16	2,00	3,73
Amarillón + Poró	MC	14,30 ± 4,10	7,11	2,86
Amarillón + Poró	MO	13,03 ± 1,72	2,98	2,61
Amarillón + Cashá	MC	10,78 ± 2,72	4,70	2,16
Amarillón + Cashá	MO	9,76 ± 2,64	4,57	1,95

*Desviación estándar.

La productividad de madera encontrada en los SAF estudiados puede ser comparada con otros estudios realizados en Costa Rica bajo otros usos de la tierra. Merlo (2007) citando a Piotto (2005), indica que amarillón en áreas de pastos abiertos del Atlántico alcanzó $85,17 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ a los 6 años, mientras en las mismas condiciones el cashá llegó a $59,81 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ con 4 años de plantado. Igualmente reporta que cashá con 4 años establecido bajo bosque secundario obtuvo un volumen de $9,65 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$.

3.3 Interacciones entre sombra y productividad de café en los SAF

El éxito de un sistema agroforestal, desde la perspectiva de niveles adecuados y estables de producción del cultivo asociado con árboles, tiene una relación directa con el diseño y manejo de la sombra que permita entradas reguladas de luz. En este sentido el estudio realizado se ha propuesto encontrar los rangos adecuados de sombra que permitan una buena producción de café. Con base en un estudio realizado por Merlo (2007), se concluye que para las condiciones del sitio, en Turrialba, los valores intermedios entre el 45% y el 54% de sombra permiten los mejores niveles de productividad de café (Figura 1). Muschler (1999) indica que en las zonas cafetaleras de Costa Rica debajo de 800 msnm y con altas temperaturas los mejores resultados de producción de café se logran con valores entre 20% y 60% de sombra.

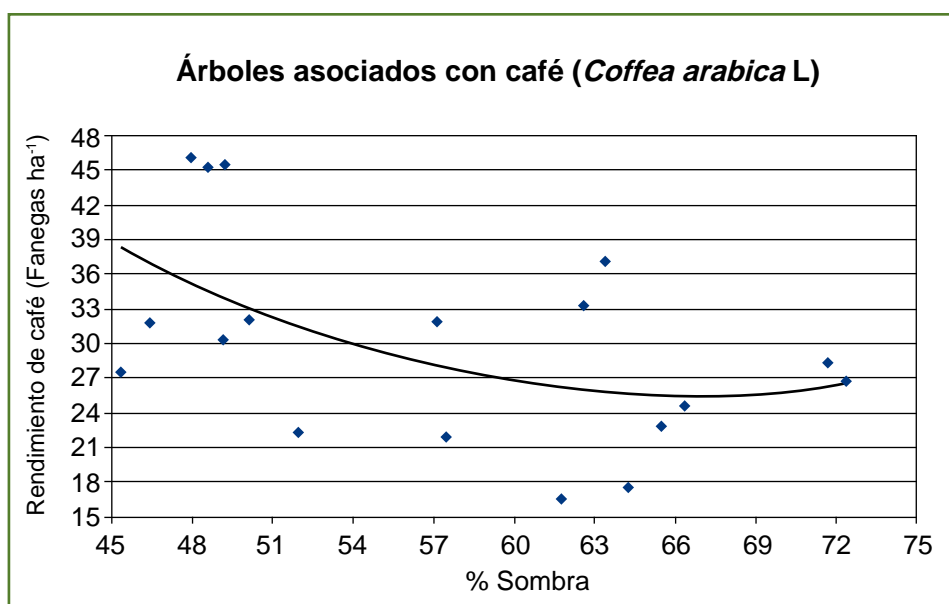


Figura 1. Rendimiento de café (variedad caturra) en función del porcentaje de sombra en los sistemas agroforestales, fanegas por hectárea (1 fan = 1 quintal oro de 46 kg) y porcentaje de sombra en SAF con manejo convencional y orgánico, en ensayo de sistemas agroforestales, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fuente: Merlo (2007).

Un factor importante relacionado con la cobertura de sombra y su interrelación con productividad de café es la densidad (número de individuos por hectárea) de árboles de las diferentes especies en los sistemas. Al inicio del experimento se plantó a una densidad que luego se ajustó (en el caso de los maderables) mediante raleos, combinados con podas (tanto maderables como leguminosos de sombra, pero con diferentes frecuencias y objetivo de poda; Cuadro 7).

Cuadro 7. Evolución de la densidad (árboles ha⁻¹) de sombra en el ensayo de sistemas agroforestales, Turrialba, Costa Rica.

SAF	Especies de árboles	Manejo	Año de raleo			
			2000	2007	2009	2011
EP	<i>Erythrina poeppigiana</i> (poró)	AC, MC, MO	580	580	433	288
TA	<i>Terminalia amazonia</i> (amarillón)	AC, MC, MO	619	470	217	160
CE	<i>Chloroleucon eurycyclum</i> (cashá)	MC, MO	617	463	278	154
CETA	<i>Chloroleucon eurycyclum</i>	MC, MO	289	220	139	77
	<i>Terminalia amazonia</i>	MC, MO	289	243	108	77
EPTA	<i>Erythrina poeppigiana</i>	MC, MO	289	289	147	143
	<i>Terminalia amazonia</i>	MC, MO	289	243	120	81
CEEP	<i>Chloroleucon eurycyclum</i>	AC, MC, MO	289	243	147	104
	<i>Erythrina poeppigiana</i>	AC, MC, MO	289	289	143	139

3.4 Rentabilidad financiera

Salgado (2010) analizó los costos de mano de obra, insumos y servicios, así como los ingresos por venta de café y de madera/leña extraída durante los raleos en el periodo 2003-2008, y estimó el VAN (Valor Actual Neto) como indicador financiero de referencia (Cuadro 8). El manejo Orgánico Intensivo (MO) tuvo el costo más alto (1912 USD ha⁻¹ año⁻¹), sin diferencias estadísticas con el manejo Alto Convencional (AC; 1838 USD ha⁻¹ año⁻¹). Los manejos Moderado Convencional (MC) y Bajo Orgánico (BO) presentaron respectivamente los costos más bajos y sin diferencias significativas entre ellos (MC = 1534 USD ha⁻¹ año⁻¹, BO = 1446 USD ha⁻¹ año⁻¹). En el Cuadro 8 se muestran los costos expresados por quintales de producción de café. Los resultados coinciden con lo indicado por Sosa et al. (citado por Salgado 2010) que encontraron costos ligeramente superiores en producción orgánica de café en relación a manejos convencionales.

En términos de ingresos totales de los SAF, el manejo AC presentó el más alto valor (3413 USD ha⁻¹ año⁻¹) diferenciándose estadísticamente de los demás manejos. Le siguió el MC con ingresos promedios de 2250,71 USD y luego sucesivamente el MO con 2217 USD ha⁻¹ año⁻¹ y BO con 1893 USD ha⁻¹ año⁻¹ (Salgado 2010).

La rentabilidad fue determinada con base en ingresos por venta de café y madera de raleos únicamente, sin incluir valoración de los servicios ambientales producidos. Para los 20 sistemas evaluados se encontró que la interacción sombra y nivel de manejo es significativa (p = 0,0372) para el Valor Actual Neto (VAN). Los mayores valores de rentabilidad financiera se obtuvieron con los sistemas Pleno Sol, poró y cashá + poró, los tres con manejos Alto Convencionales (Cuadro 8). Un aspecto importante es que sólo un sistema (cashá + amarillón con manejo Orgánico Intensivo) presentó rentabilidad negativa, mientras que todos los demás sistemas presentaron viabilidad financiera. Los SAF con manejos orgánicos que obtuvieron buenos resultados de rentabilidad, incluso sin diferencias estadísticas con Pleno Sol con manejo Moderado Convencional, fueron poró (manejo BO), amarillón (manejo MO), cashá + poró (manejo BO) y poró (manejo MO; Cuadro 8; Salgado 2010).

Cuadro 8. Valor actual neto (VAN) y costos de producción de café en sistemas de pleno sol y diferentes SAF con manejos orgánicos y convencionales, Turrialba. Fuente: elaborado con datos de Salgado (2010).

SAF	VAN promedio (USD ha ⁻¹)	Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)					Costo Producción (USD qq ⁻¹)
AC (pleno sol)	7632,06	A					36,68
AC (poró)	7262,81	A					37,84
AC (cashá + poró)	6203,33	A					39,04
MC (pleno sol)	5439,53	A	B				42,36
AC (amarillón)	5011,63	A	B				41,40
MC (poró + amarillón)	4165,37	A	B				40,89
BO (poró)	2974,71		B	C			52,39
MC (amarillón)	2912,50		B	C			49,93
MO (amarillón)	2842,87		B	C			57,72
MC (cashá)	2796,10		B	C			50,68
MC (cashá + amarillón)	2677,80		B	C			50,37
MC (poró)	2522,35		B	C			52,11
BO (cashá + poró)	2004,52		B	C	D		57,82
MC (cashá + poró)	1832,30		B	C	D		55,01
MO (poró)	1653,29		B	C	D		62,89
MO (cashá + poró)	1316,92		B	C	D	E	63,10
MO (poró + amarillón)	578,37			C	D	E	69,07
BO (amarillón)	411,51			C	D	E	69,76
MO (cashá)	403,40				D	E	71,00
MO (cashá + amarillón)	-276,59					E	80,11

4. SERVICIOS AMBIENTALES

4.1 Biomasa, reciclaje de nutrientes, macrofauna y fertilidad del suelo

4.1.1 Biomasa depositada sobre el suelo

Para el séptimo año de establecido el estudio, los SAF se compararon con dos manejos de altos insumos, el Alto Convencional (AC) y el Orgánico Intensivo (MO), en relación con la producción de biomasa en cada componente de los sistemas (hojarasca, hierbas, café y árboles). Los tratamientos con poró (solo o combinado) presentaron de manera significativa ($p < 0,01$), los valores más altos de biomasa de la hojarasca y de la poda de los árboles, mientras que no hubo diferencias estadísticas entre los SAF con cashá y amarillón. Para el componente hojarasca las parcelas con poró con manejo orgánico intensivo presentaron de manera significativa ($p < 0,0001$) valores más altos que con manejo convencional intensivo. La producción total de la biomasa originada por los diferentes componentes del sistema fue significativamente mayor en los SAF con poró, ya sea solo (poró 17.428 kg ha⁻¹ vs. amarillón 8.696 kg ha⁻¹ y cashá 8.102 kg ha⁻¹, $p = 0,023$) o en forma combinada con otras especies (poró + amarillón 17.724 kg ha⁻¹ y cashá + poró 14.878 kg ha⁻¹ vs. Cashá + amarillón 12.791 kg ha⁻¹, $p = 0,060$ (Cuadro 9; Hagggar et al. 2011).

Cuadro 9. Biomasa (kg ha⁻¹) depositada sobre el suelo por caída natural y por manejo en los SAF, Costa Rica para el año 2006. Fuente: Hagggar et al. (2011).

SAF*	Manejo**	Herbácea	Poda de café	Poda de árboles	Hojarasca	Total
CE	MO	884	1020	2150	4047	8102
EP	AC	225	4104	9997	3031	17357
EP	MO	164	3077	7837	6352	17428
TA	AC	123	3832	1659	4513	10126
TA	MO	1338	2199	955	4203	8696
CE+EP	AC	259	3007	4812	3436	11513
CE+EP	MO	259	2530	6575	5514	14878
CE+TA	MO	1150	1039	6608	3993	12791
EP+TA	MO	414	2419	8262	6629	17724

*CE = *C. eurycyclum*; EP = *E. poeppigiana*; TA = *T. amazonia*.

**MO = Manejo Orgánico intensivo; AC = Manejo Alto Convencional; MC = Manejo Moderado Convencional.

4.1.2 Reciclaje de NPK en la biomasa de poda de los árboles

Los aportes de nutrientes realizados a partir de material de la poda de los árboles en los sistemas, siempre tuvieron valores más altos cuando estaba presente el poró (solo o en combinación; Cuadro 10; Hagggar et al. 2011). La segunda especie, después del poró, que más nutrientes aportó (especialmente nitrógeno) fue el cashá, diferenciándose del amarillón que tuvo el menor aporte. Ambas especies tienen capacidad fijadora de nitrógeno (Montenegro 2005). En un estudio realizado en la Estación Biológica La Selva, también en la vertiente caribe de Costa Rica, Tilki y Fisher (1998) encontraron nodulación en las raíces de poró y cashá.

Cuadro 10. Aportes promedio (kg ha⁻¹ año⁻¹) de nutrientes a partir de la poda de los árboles en diferentes sistemas agroforestales con manejos orgánicos y convencionales, en 2005 y 2006, en Turrialba, Costa Rica. Fuente: elaborado con base en de Montenegro (2005), Romero (2006), Hagggar et al. (2011).

SAF*	Manejo	Nitrógeno		Fósforo		Potasio	
		2005	2006	2005	2006	2005	2006
CE	MO	100,0	58,4	4,70	4,48	22,6	18,0
EP	AC	74,9	254,0	6,10	19,30	46,1	120,0
EP	MO	300,1	236,0	25,40	20,70	186,3	128,0
TA	AC	57,8	17,6	4,00	1,51	26,5	10,8
TA	MO	18,9	15,5	1,90	1,86	10,1	10,0
CE+EP	AC		131,0		9,32		58,6
CE+EP	MO		151,0		12,20		74,6
CE+TA	MO		133,0		11,30		49,9
EP+TA	MO		170,0		18,90		116,0

*CE = *C. eurycyclum*; EP = *E. poeppigiana*; TA = *T. amazonia*.

**MO = Manejo Orgánico intensivo; AC = Manejo Alto Convencional

4.1.3 Densidad de macrofauna (lombrices de tierra)

Diferentes estudios (Satchell 1983, Domínguez et al. 2009, Jiménez y Thomas 2003 citados por Vásquez 2014) reafirman la importancia de las lombrices en la génesis y fertilidad de los suelos, y en el mejoramiento de propiedades físicas y biológicas con implicaciones positivas en la salud del suelo. Dos evaluaciones de abundancia (Nº individuos/m²) y biomasa (g/m²) de lombrices de tierra fueron hechas en período lluvioso entre los meses de octubre y noviembre, a los 6 años y a los 13 años de edad (Cuadro 11). A los 6 años los sistemas con menor cantidad de lombrices fueron los de Pleno Sol, tanto con manejo Alto Convencional (AC) como con manejo Moderado Convencional (MC). Para esta evaluación, los sistemas con mayores abundancias de lombrices fueron amarillón, cashá + poró, ambos con manejo Orgánico Intensivo (MO), seguidos de poró y amarillón, ambos con manejo Moderado Convencional (MC). Para biomasa, igualmente los sistemas de pleno sol y de sombra con manejos AC y MC tuvieron los menores valores, mientras que los SAF con manejo Orgánico Intensivo tuvieron los valores más altos (Aquino et al. 2008).

La evaluación realizada a los 13 años nos permite reafirmar que el sistema que más limita la abundancia y peso de las lombrices es el Pleno Sol con manejo Alto Convencional, coincidiendo con los resultados de los 6 primeros años (Cuadro 11; Vásquez 2014). Luego de trece años, la mayoría de los SAF pasan a tener valores de abundancia similares entre sí y sin diferencias estadísticas entre los tipos de manejo. Por otro lado, para esta evaluación el sistema de Pleno Sol con manejo Moderado Convencional se ubica entre los de mayor cantidad de lombrices. Los factores que podrían explicar este resultado están asociados a prácticas de manejo de mantenimiento de la cobertura natural del suelo y la reducción del uso de agroquímicos, situación distinta de lo realizado en el sistema de Pleno Sol Alto Convencional.

Cuadro 11. Promedios de abundancia y biomasa de lombrices de tierra en diferentes sistemas de producción de café bajo sombra y en pleno sol, con diversos tipos de manejos (orgánicos y convencionales) en período lluvioso (octubre a noviembre) a los 6 años y a los 13 años de edad de los sistemas, Turrialba, Costa Rica.

Sistemas (manejos)	Abundancia (Nº ind/m ²) (de 0 a 10 cm de profundidad)		Biomasa (g/m ²) (de 0 a 10 cm de profundidad)	
	A los 6 años (2005)*	A los 13 años (2012)**	A los 6 años (2005)*	A los 13 años (2012)**
Pleno Sol (AC)	77,87 A	84,94 (1) A	56,25 (6) A	24,77 (1) A
Pleno Sol (MC)	115,20 A	188,49 (9) B	31,23 (1) A	73,14 (6) C
EP (AC)	147,20 B	172,48 (7) B	54,24 (5) A	76,34 (7) C
TA (AC)	151,47 B	211,86 (10) B	43,13 (2) A	85,97 (10) D
EP (MO)	156,80 B	154,49 (4) B	81,49 (8) B	85,31 (9) D
CE (MC)	161,07 B	147,59 (3) B	46,73 (3) A	51,58 (3) B
TA (MC)	203,73 C	179,30 (8) B	51,88 (4) A	78,46 (8) D
EP (MC)	242,13 C	159,22 (5) B	63,84 (7) B	72,13 (5) C
CE (MO)	305,07 C	165,19 (6) B	96,22 (10) B	69,00 (4) C
TA (MO)	402,13 C	115,38 (2) A	93,48 (9) B	49,61 (2) B

Fuente: * elaborado con datos de Aquino et al. (2008). Letras iguales en las columnas indican que no hay diferencias significativas (Prueba de Scott-Knott, $\alpha = 0,05$);

** Vásquez (2014). Letras iguales en las columnas indican que no hay diferencias significativas (Prueba DGC, $\alpha = 0,05$).

EP = *E. poeppigiana*; TA = *T. amazonia*; CE = *C. eurycyclum*;

AC = Manejo Alto Convencional; MC = Manejo Moderado Convencional; MO = Manejo Orgánico Intensivo;

Nota: los números entre paréntesis en las columnas dos, tres y cuatro indican el orden de menor (1) a mayor valor (10).

4.1.4 Fertilidad de los suelos

Después de cuatro años de establecidos los diferentes sistemas se encontró que había cambios significativos en las propiedades químicas del suelo. Los tratamientos orgánicos intensivos con árboles presentaron los más altos valores de pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, potasio, calcio, magnesio y fósforo. Los sistemas orgánicos intensivos tuvieron menor acidez en relación con los sistemas con manejo moderado convencional (Cuadro 12; Hagggar et al. 2011).

Cuadro 12. Características químicas del suelo (0-10 cm) en diferentes sistemas con café en 2004, Turrialba, Costa Rica. Fuente: Elaborado con base en Hagggar et al. (2011).

Sistema*	Manejo**	pH H ₂ O	Materia orgánica (%)	Sat. Acidez (%)	P (mg/l)	K (cmol(+)/l)	Ca (cmol(+)/l)	Mg (cmol(+)/l)	CEC (cmol(+)/l)
TA	MO	6,01b	6,43cd	0,75 a	16,83 c	0,60 d	8,40 e	2,07 b	11,15 e
CETA	MO	5,93b	6,19bcd	1,01 a	16,08 c	0,51 cd	7,88 de	2,06 b	10,56 cde
CEEP	MO	5,89b	6,72d	0,79 a	15,28 bc	0,55 cd	8,44 e	1,86 b	10,92 de
EP	MO	5,86b	6,67d	2,19 ab	20,45 cd	0,55 cd	7,77 de	1,94 b	10,43 cde
CE	MO	5,85b	6,26bcd	1,49 a	25,28 d	0,52 cd	7,40 d	1,93 b	9,98 c
EPTA	MO	5,83b	5,63ab	1,54 a	26,32 d	0,49 c	7,42 d	1,97 b	10,02 cd
PSol	MC	5,47a	5,34a	4,90 abc	6,53 a	0,27 a	6,12 c	1,39 a	8,16 b
CEEP	MC	5,43a	6,30bcd	5,96 bc	5,58 a	0,28 a	6,07 c	1,33 a	8,11 b
TA	MC	5,39a	6,18bcd	6,92 c	7,42 a	0,39 b	5,75 bc	1,40 a	8,05 b
EP	MC	5,34a	5,77abc	7,10 c	8,63 a	0,31 ab	5,28 abc	1,41 a	7,47 ab
CETA	MC	5,34a	5,38a	8,49 cd	7,73 a	0,30 ab	5,06 ab	1,37 a	7,34 ab
EPTA	MC	5,30a	5,24a	9,01 cd	8,25 a	0,26 a	5,20 ab	1,26 a	7,35 ab
CE	MC	5,29a	5,96adbc	2,54 d	8,85 ab	0,23 a	4,86 a	1,21 a	7,12 a

*CE = *C. eurycyclum*; EP = *E. poeppigiana*; TA = *T. amazonia*; PSol = Pleno Sol;

**MO=Manejo Orgánico Intensivo; MC = Manejo Moderado Convencional.

4.2 Captura de C y emisiones de GEI

Durante los nueve primeros años del estudio se encontró que todos los SAF tuvieron niveles altos de captura de carbono (en la biomasa abajo y arriba del suelo), y compensaron las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas a los distintos manejos en la producción de café. El sistema de producción a pleno sol con manejo Alto Convencional fue el único que tuvo balance negativo (Cuadro 13). Noponen et al. (2012) indican que estos resultados son similares a los hallados en estudios realizados en Costa Rica por Hergoualc'h et al. (2012) donde SAF de café asociado con *Inga densiflora* en Costa Rica presentaron balances positivos, en comparación con cafetales a pleno sol con balance negativo, es decir, que eran emisores netos de GEI.

Cuadro 13. Promedio anual de captura de carbono, emisiones, y balance neto en los diferentes sistemas, período 2000-2009, Turrialba. Fuente: elaborado con base en Noponen (2012).

Sistemas*	Manejo**	Captura de C en biomasa y hojarasca (Mg CO ₂ e ha ⁻¹ año ⁻¹)	Emisiones (Mg CO ₂ e ha ⁻¹ año ⁻¹) (Entre paréntesis orden de menor (1) a mayor (14) emisiones)	Balance anual neto CO ₂ (Mg CO ₂ e ha ⁻¹ año ⁻¹)
CE	MC	47,24 (±8,22)	2,95 (9)	44,29 (± 4,7)
CE	MO	47,23 (±7,84)	1,92 (4)	45,31 (±4,5)
TA	AC	45,24 (±5,20)	5,14 (13)	40,10 (±5,2)
TA	MC	25,43 (±6,01)	2,81 (7)	22,63 (±3,5)
EPTA	MC	25,12 (±1,23)	3,20 (10)	21,92 (±0,7)
TA	MO	22,74 (±9,51)	1,72 (3)	21,02 (±5,5)
TA	BO	19,24 (±9,94)	0,50 (1)	18,74 (± 5,7)
EPTA	MO	15,97 (±0,58)	2,29 (5)	13,68 (±0,3)
EP	MC	14,25 (±0,37)	3,77 (11)	10,48 (±0,2)
EP	MO	13,46 (±0,95)	2,92 (8)	10,54 (±0,5)
EP	BO	12,32 (±1,27)	1,50 (2)	10,82 (±0,7)
EP	AC	9,21 (±1,28)	6,13 (14)	3,08 (±0,7)
PSol	AC	4,43 (±0,45)	5,00 (12)	- 0,57 (±0,5)
PSol	MC	3,03 (±0,35)	2,71 (6)	0,32 (±0,4)

*CE = *C. eurycyclum*; EP = *E. poeppigiana*; TA = *T. amazonia*; PSol = Pleno Sol;

**MO=Manejo Orgánico Intensivo; MC = Manejo Moderado Convencional.

4.3 Biodiversidad en los sistemas

4.3.1 Diversidad de aves

En el 2008 (julio) se hizo un estudio sobre la diversidad de avifauna en los sistemas con un registro de 29 especies de 19 familias. Los sistemas visitados por un mayor número de especies (17) fueron poró-MO, amarillón-MO, cashá-MO, correspondiente al 55% de la diversidad encontrada. El sistema café en Pleno Sol-MC presentó sólo 2 especies (6,4% de la diversidad de aves observada). Los sistemas con mayor número de individuos registrados fueron amarillón-BO (42 individuos), amarillón-MO (34 individuos), cashá-BO (32 individuos), y los sistemas con menor cantidad de individuos observados fueron Pleno Sol-AC (4 individuos) y Pleno Sol-MC (1 individuo). Los valores de percha y sobrevuelo fueron significativamente mayores en los SAF que en el sistema café a pleno sol (Cuadro 14; Perdomo 2008).

Cuadro 14. Promedios de registro de aves en dos actividades de comportamiento según tipo de sombra en el ensayo de sistemas agroforestales en café, 2008, Turrialba, Costa Rica. Fuente: elaborado con base en Perdomo (2008).

Sistema	Actividades de comportamiento	
	Percha	Sobre vuelo
<i>Erythrina poeppigiana</i> (poró - EP)	2,58 b	1,08 a ^Ψ
<i>Terminalia amazonia</i> (amarillón - TA)	3,00 b	2,83 c
<i>Chloroleucon eurycyclum</i> (cashá - CE)	2,83 b	2,33 b
CE + EP	2,58 b	1,50 b
TA + CE	3,67 b	1,50 b
EP + TA	3,67 b	1,50 b
Pleno Sol	0,33 a	0,50 a

Nota: para ambas actividades (percha y sobre vuelo) los datos corresponden a promedio de número de individuos, de observaciones durante dos días (10 minutos de observación cada día) en las primeras horas de la mañana. ^ΨLetras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según prueba LSD Fisher.

4.3.2 Diversidad de especies herbáceas

Las hierbas del suelo son un componente muy importante de los sistemas de producción de café, ya que cubren y protegen el suelo y favorecen la biodiversidad. Por otro lado, algunas hierbas pueden competir por agua y nutrientes con el café de manera importante. En 2007 se hizo un inventario de las hierbas presentes en los diferentes sistemas. Fueron identificadas 58 especies de hierbas de 27 familias distintas. Las especies más comunes fueron *Drymaria cordata*, *Paspalum conjugatum*, *Spananthe paniculata*, *Digitaria sanguinalis*, *Paspalum conjugatum*, *Hydrocotyle umbellata*, *Borreria laevis*, *Cyperus tenuis*, *Phyllantus niruri*, *Cyperus luzulae*, *Mimosa pudica*, *Dichromena ciliata*, y *Pseudoelephantopus spicatus*.

Independientemente del tipo de sombra, el manejo Alto Convencional redujo fuertemente la riqueza de las hierbas del suelo (Figura 2; Rossi et al. 2011). Los sistemas con manejos Moderado Convencional y Orgánico Intensivo presentaron la mayor diversidad de hierbas con hasta 18 especies en promedio. El estudio además determinó que el mayor equilibrio entre productividad de café y alta diversidad de hierbas en el suelo se alcanzó con los manejos Orgánico Intensivo y Moderado Convencional (Figura 2).

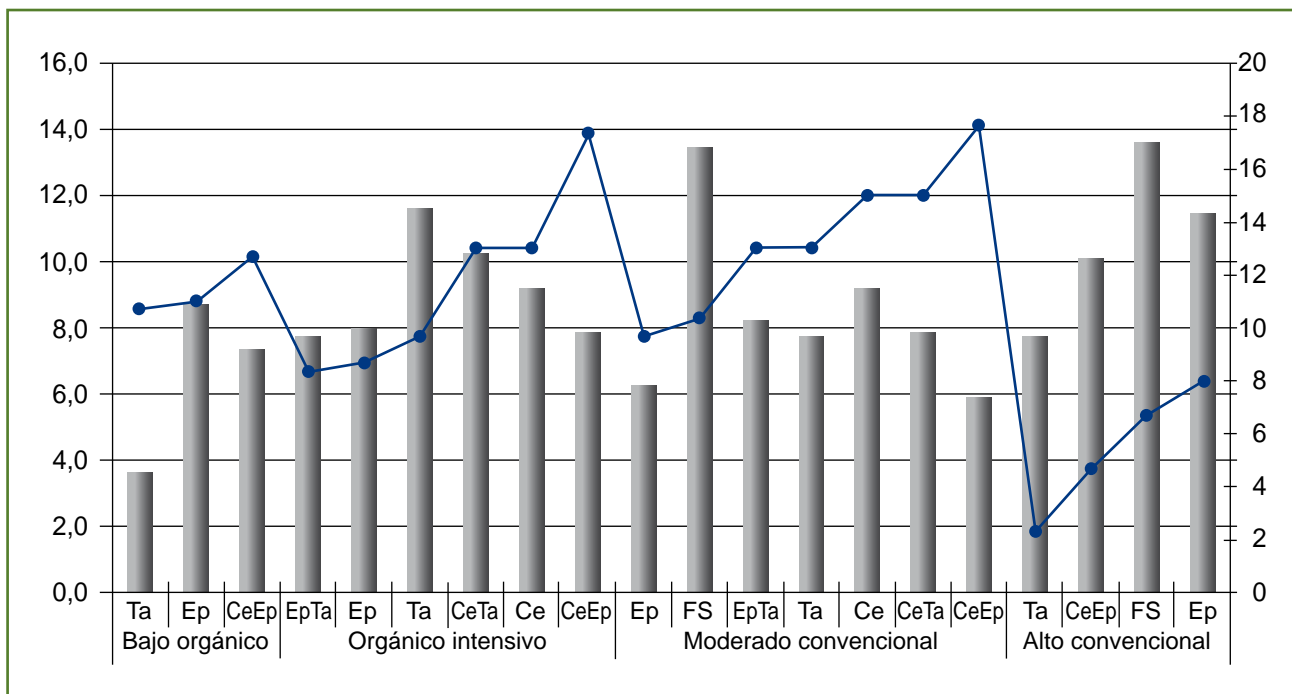


Figura 2. Diversidad de hierbas (No. de especies, líneas) y productividad de café (Mg ha⁻¹, barras) en los diferentes sistemas de manejo (año 2007) y de sombra, en ensayo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica (Rossi et al. 2011). Ta = *T. amazonia*; Ep = *E. poeppigiana*; Ce = *C. eurycyclum*; Sol = Plena exposición solar.

4.3.3 El complejo de plagas y enfermedades

Para el período comprendido entre los años 2002 y 2009 los monitoreos mensuales en los diferentes sistemas estudiados permitieron determinar patrones en la dinámica de plagas y enfermedades del café. Para el caso de la roya, causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, que ataca las hojas del café, las mayores incidencias promedio (>30%) fueron encontradas en los SAF con maderables. Los sistemas que presentaron las menores incidencias de roya (<23%) fueron Pleno Sol con manejo Alto Convencional, y los SAF con *E. poeppigiana* tanto en manejo Orgánico Orgánico Intensivo como en Alto Convencional (Hernández 2010).

Los sistemas con la mayor incidencia (>7%) del hongo *Cercospora coffeicola*, causante de la “mancha de hierro” (o Chasparría) de la hoja, fueron el de Pleno Sol con los manejos Alto Convencional y Moderado Convencional, y el SAF con sombra de amarillón con manejo Bajo Orgánico. Los sistemas con menores incidencias (<4%) fueron poró + amarillón (MO), poró + cashá (BO), poró (BO), poró (MC) y poró + amarillón (MC) (Hernández 2010).

La incidencia de la broca (barrenador, gorgojo) del fruto del café (el coleóptero *Hypothenemus hampei*) se evaluó en un estudio entre los meses de febrero a setiembre de 2010. Los resultados permiten concluir que tanto la sombra excesiva (>60%) de los árboles como la plena exposición solar pueden estimular la reproducción y ataque de la broca. El estudio reafirmó además la importancia del rol de control natural que realiza el hongo *Beauveria bassiana* sobre la Broca, en particular en los sistemas de café con sombra media (33%) de los árboles (Sánchez 2011).

CONCLUSIONES

El ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales en café para estudio de interacciones agroecológicas brinda una amplia gama de informaciones, necesarias e importantes para apoyar los procesos de diseño y manejo de innovaciones productivas que permitan un balance adecuado entre productividad del cultivo asociado (en este caso café) y árboles, con la generación de servicios ambientales básicos para la sustentabilidad.

Los mejores rendimientos de café se obtienen en sistemas a pleno sol y con manejo convencional intensivo. La introducción del árbol en el sistema reduce los rendimientos del café, pero algunas combinaciones de especies con manejo convencional y orgánico alto producen rendimientos muy buenos. Las combinaciones apropiadas entre árboles de servicio (poró - *Erythrina poeppigiana*), árboles maderables (cashá - *Chloroleucon eurycyclum* y amarillón - *Terminalia amazonia*) con manejos tanto Moderado Convencional como Orgánico Intensivo y Orgánico Bajo (con la excepción de amarillón) han permitido niveles de productividad de café y de madera con muy buena rentabilidad durante el período de estudio.

Los SAF con poró (solo o en combinación con otros árboles) aportan mayor biomasa para reciclaje en los sistemas, y mejor regulación en el complejo de plagas y enfermedades. Los SAF con manejo Orgánico Intensivo han mejorado las propiedades físicas y químicas de los suelos. Además, los sistemas agroforestales mantienen altos niveles de abundancia y biomasa de lombrices de tierra que mejoran la calidad de los suelos. Los SAF han presentado niveles altos de captura de carbono y balances positivos en relación con las emisiones de GEI durante la producción de café, mientras que los sistemas de café solo a Pleno Sol con tratamiento Alto Convencional presentan balances negativos. Igualmente los sistemas agroforestales muestran mayor diversidad de aves y hierbas del suelo.

Estos hallazgos son producto de los análisis de monitoreos realizados en los primeros 10 años de los sistemas, por lo tanto es necesario consolidar el seguimiento de las investigaciones para poder cubrir un período de 10 años más, fase en que tanto el cultivo de café como los árboles llegarán a su máximo desarrollo y aprovechamiento. Como ejemplos de preguntas que se podrían contestar en la próxima década se encuentran: ¿Habrá envejecimiento diferenciado de las plantaciones de café en los distintos sistemas? ¿Qué sistemas presentan mejor equilibrio entre productividad y servicios ambientales?

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a investigadores, investigadoras, asistentes, personal administrativo, estudiantes de grado, maestrías y doctorado por sus aportes decisivos y su colaboración en los diferentes estudios. A todas las instituciones nacionales (ICAFE, UCR, ITCR, Beneficio Santa Rosa y Beneficio Juan Vías) e internacionales que colaboran con el mantenimiento del ensayo de largo plazo. A los productores de café que colaboraron y colaboran de diferentes formas para el éxito de las investigaciones. Igualmente nuestro reconocimiento especial a los obreros de campo Luis Romero, Luis Araya, Mayor Torres, José Angel y Alfonso Arroyo, sin los cuales no serían posibles los logros alcanzados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aquino, A; Virginio Filho, E. de M; Ricci, M; Casanoves, F. 2008. Populações de minhocas em sistemas agroflorestais com café convencional e orgânico. *Ciência e Agrotecnologia* 32(4):1184-1188.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2014. Ensayos de largo plazo de Sistemas Agroforestales con café (en línea). Disponible *En:* <http://www.catie.ac.cr/es/en-que-trabajamos/2013-08-26-22-56-13/agro-cafe/proyectos-agroforesteria/ensayos-saf-con-cafe>.
- Flores, M; Bratescu, A; Martínez, JO; Oviedo, JA; Acosta, A. 2002. Centroamérica: El impacto de la caída de los precios del café. *Estudios y perspectivas* 9. México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 83 p.
- Gliessman, SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 359 p.
- Haggar, J; Staver, C; Melo, E. de M. 2001. Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café: estudio de interacciones entre plagas, fertilidade del suelo y árboles de sombra. *Agroforesteria en las Américas* 8(29):49-51.
- Haggar, J. 2005. Investigación regional para una caficultura ecológica y diversificada. Serie Síntesis Divulgación, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 31 p.
- Haggar, J; Barrios, M; Bolaños, M; Merlo, M; Moraga, P; Munguia, R; Ponce, A; Romero, S; Soto, G; Staver, S; Virginio, E. de M. 2011. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agroforestry Systems* 82:285-301.
- Hergoualc'h, K; Blanchart, E; Skiba, U; Hénault, C; Harmand, J. 2012. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148:102-110.
- Hernández, J. 2010. Incidencia de enfermedades foliares del café bajo diversos tipos de sombra y manejo de insumos, en sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica. Tesis. Cartago, Costa Rica, ITC. 75 p.
- Leiva, JM. 1997. Estudio regional de los sistemas agroforestales con café - Definición de políticas y mecanismos de promoción. Guatemala, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)-Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE). 38 p.

- Merlo, ME. 2007. Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* var. Caturra), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*), y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.
- Moguel, R; Toledo, VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Montenegro, EJ. 2005. Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 67 p.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba, Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 5. Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 139 p.
- Noponen, MR; Gareth, J; Hagggar, J; Soto, G; Attarzadeh, N; Healey, J. 2012. Greenhouse gas emissions in coffee grown with differieng input levels under conventional and organic management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 151:6-15.
- Perdomo, Y. 2008. Caracterización de aves, insectos y pequeños mamíferos en el ensayo de sistemas agroforestales en café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. Trabajo de pregrado. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Universidad del Tolima. 80 p.
- Romero, SA. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 110 p.
- Rossi, E; Montagnini, F; Virginio Filho, E. de M. 2011. Effects of management practices on coffee productivity and herbaceous species diversity in agroforestry systems in Costa Rica Pp. 115-132 *In: Montagnini, F; Francesconi, W; Rossi, E. Agroforestry as a tool for landscape restoration.* Nova Science Publishers, New York.
- Salgado, JL. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistema agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 110 p.
- Sánchez, E. 2011. Efecto de la sombra y del manejo del café sobre la dinámica poblacional de (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en frutos nuevos y remanentes en Turrialba. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 106 p.
- Somarriba, E; Beer, J; Alegre Orihuela, J; Andrade, H; Cerda, R; DeClerck, F; Detlefsen, G; Escalante, M; Giraldo, LA; Ibrahim, M; Krishnamurthy, L; Mena, VE; Mora-Delgado, J; Orozco, L; Schelje, M; Campos, JJ. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. Pp. 429-453 *In: Nair, PKR; Garrity, DP. (Eds.). Agroforestry: the way forward.* USA, Springer..
- Tilki, F; Fisher, RF. 1998. Tropical leguminous species for acid soils: studies on plant form and growth in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 108:175-192
- Vásquez, N. 2013. Germoplasmas potenciales resistentes o tolerantes a roya (en línea). Presentación en el Foro Regional de la Roya del Cafeto. Costa Rica, CATIE. Disponible *En: http://biblioteca.catie.ac.cr/royadelcafeto/descargas/Charla_Congreso_Roya.pdf*
- Vásquez, A. 2014. Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales de café orgánico y convencional en contraste con cultivos en pleno sol y bosque, durante la época lluviosa y seca en Turrialba, Costa Rica. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 85 p.
- Virginio Fiho, E. de M; Hagggar, JP; Staver, CP. 2002. Avances y desafíos en el establecimiento de ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales en café en zona baja húmeda. II Encuentro de Investigadores en Producción Orgánica. [Turrialba, Costa Rica, 12-13 mar. 2002].
- Virginio Filho, E. de M; Orozco, S; Sheck, R. 2012. Coffee Agroforestry Systems Experiment: More than a decade of pioneering results at a world level. Turrialba, Costa Rica, CATIE, ASIC-2012, ICAFE. 13 p.
- Virginio Filho, E. de M; Caicedo, C; Orozco, S; Villanueva, C; Astorga, C. 2013. Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. CATIE-INIAP. 7 p.



152

Cordia trichotoma (peteribi) de 20-30 años de edad, plantado en SAF con yerba en establecimiento de Fundación Roth, Misiones, Argentina. Foto: F. Montagnini.

Capítulo 7

Ilex paraguariensis A. ST.-HIL., YERBA MATE ORGÁNICA BAJO DOSEL DE ESPECIES NATIVAS MADERABLES, UNA PROPUESTA DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLE

Beatriz I. Eibl¹, Florencia Montagnini², Miguel A. López¹, Roberto Montechiesi³,
Sara R. Barth^{1,4}, Eduardo Esterche⁵

¹ Facultad Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Eldorado, Misiones, Argentina.
Correo electrónico: beibl@factor.unam.edu.ar

² Investigadora Científica, Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios Ambientales,
360 Prospect St., New Haven, CT 06511, USA.

³ Cámara de Molineros de Yerba Mate de la Zona Productora, Posadas, Misiones, Argentina.

⁴ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Montecarlo, Misiones, Argentina.

⁵ Escuela Agrotécnica Eldorado, Universidad Nacional de Misiones, Eldorado, Misiones, Argentina.

RESUMEN

La yerba mate, *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., es un árbol nativo del Bosque Atlántico Interior en Argentina, Paraguay y Brasil, cuya hoja tiene un mercado de consumo en expansión por sus propiedades nutritivas y energizantes. En la Provincia de Misiones, en la zona Noreste de la Argentina, existen unos 17 mil productores de yerba, de los cuales el 85% posee superficies de 10 hectáreas en promedio. Además, en Misiones, el 50% de las 200 mil hectáreas implantadas hasta la fecha, corresponden a sitios de baja productividad, sujetos a conversión a yerbales nuevos o a acciones de restauración. Cuando es convencionalmente plantada en monocultivo a cielo abierto, la yerba causa agotamiento de los nutrientes del suelo, además de erosión hídrica, y exportación adicional de nutrientes con la cosecha de hojas verdes. En cambio, bajo cubierta de árboles, la planta de yerba se beneficia por un ambiente más estable, mientras que el suelo también se favorece por la protección y el reciclaje de nutrientes. Los sistemas productivos de yerba orgánica no permiten el uso de productos químicos y recomiendan para la certificación la inclusión de árboles nativos en combinaciones agroforestales. A partir de antecedentes de adaptación y crecimiento de especies nativas y preferencia por parte de los propietarios, se identificaron especies potenciales para la asociación con *Ilex paraguariensis* en sistemas agroforestales (SAF). Con base en las características deseadas se recomienda: *Balfourodendron riedelianum*, *Cordia trichotoma*, *Nectandra lanceolata*, *Bastardiopsis densiflora*, *Jacaranda micrantha*, *Araucaria angustifolia*, y *Aspidosperma polyneuron*, de desarrollo monopódico y poda natural. Incluidas en una etapa posterior a la sombra: *Eugenia involucrata*, *Eugenia uniflora*, *Myrciaria rivularis*, *Heliopsis scabra*, *Myrcarica frondosa*, y *Cabralea canjerana*, las cuales aportan frutas y madera de calidad. Recomendadas en baja densidad, en asociación con la yerba, de copa amplia y crecimiento simpódico: *Enterolobium contortisiliquum*, *Cedrela fissilis*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Handroanthus albus*, *Handroanthus pulcherimus*, *Peltophorum dubium*, *Pterogyne nitens* y *Anadenanthera macrocarpa*, por su potencial para la restauración. Además de las especies plantadas, en los yerbales asociados en SAF tienden a surgir especies de la regeneración natural, conformando diferentes pisos, desde un estrato inferior con pastos naturales, el estrato intermedio de yerba, acompañado de otras especies frutíferas, melíferas y medicinales para aumentar la diversificación, como *Euterpe edulis* y *Syagrus romanzoffiana*. Con un total de 80 a 120 especies maderables por hectárea, la valoración económica de los árboles que enriquecen una plantación de yerba mate en SAF se estima en torno de 5,1 a 5,3 dólar árbol⁻¹ a los 10 años, los cuales generan biomasa con usos diferenciales. En los SAF, la sombra propicia la formación de plantas de yerba más sanas, y la mayor diversificación aporta nutrientes y contribuye al control de plagas y enfermedades. Asimismo, la presencia de árboles añosos huecos favorece a las aves que se alimentan de insectos y roedores.





1. INTRODUCCIÓN

La yerba mate, *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., Aquifoliaceae, es un árbol nativo que forma parte del dosel intermedio del Bosque Atlántico Interior en Argentina, Paraguay y Brasil. Antes de la llegada de los españoles a Asunción, en 1554, las hojas de la yerba, quebradas en una calabaza con agua caliente y absorbidas con el uso de una caña hueca o “tacuara,” ya eran consumidas por las comunidades originarias guaraníes de los tres países, por sus propiedades como estimulante, tónica y diurética (Montechiesi 2007). Durante el siglo XVIII con las “reducciones” Jesuíticas (poblaciones de indígenas guaraníes bajo autoridad de los religiosos) se inició la domesticación de la especie, aunque las cosechas eran principalmente provenientes del bosque natural (Burtnik 2006). La especie ya fue citada en 1822, con el mismo nombre que lleva actualmente, a partir de material colectado en Curitiba, Paraná, Brasil, por el botánico Augusto de Saint Hilaire (López et al. 2002). Las primeras plantaciones de yerba en la Provincia de Misiones se realizaron en la localidad de San Ignacio y datan del año 1926 (Burtnik 2006) y ya en 1902 se estableció el primer emprendimiento yerbatero en la misma ciudad (Gallero 2013).

Actualmente en la Argentina la yerba mate es cultivada por grandes, medianos y pequeños productores, en cooperativas y/o empresas, para el mercado doméstico y la exportación. Las plantaciones de *Ilex paraguariensis* en las provincias de Misiones y Corrientes (Argentina) comprenden un total de 203.800 hectáreas (ha) con una producción anual de 650 millones de kilogramos (kg) de hoja verde que equivale a 250 millones de kilogramos de yerba mate (INYM 2013).

En la Provincia de Misiones existen 17 mil productores de yerba, de los cuales el 85% posee superficies de 10 has en promedio. El 50% de éstas corresponde a sitios que presentan baja productividad por diversas razones; por erosión, compactación del suelo, pérdida de nutrientes y manejo inadecuado de plantas (Montechiesi 2007). Una manera de recuperar la productividad es incorporando el componente árbol al predio (Reutemann 2009, Baggio et al. 2011, Day et al. 2011.). Cuando los suelos están compactados, la sola aplicación de fertilizantes puede ser ineficiente, ya que previamente se deberá restituir la actividad biológica, la estructura y la porosidad del suelo. Estas recomendaciones fueron promocionadas por Don Alberto Roth, quien en 1946 sugería mantener los suelos siempre cubiertos para evitar la erosión, utilizar especies leguminosas, incorporar abonos orgánicos y plantar árboles en los yerbales (Gallero 2013). Lytwin (2011) recomienda utilizar cubiertas verdes de invierno y verano entre las filas de yerba mate, la inclusión de especies forestales, e incluir animales en los yerbales como algunas de las prácticas tendientes a aumentar la productividad y mejorar el suelo degradado.

Baggio et al. (2011) identificaron a *Cordia trichotoma* y *Peltophorum dubium*, seguidas de *Cabralea canjerana*, *Parapiptadenia rigida*, *Cordia americana* y *Handroanthus heptaphyllus*, como las especies de mejor crecimiento para la producción de yerba a la sombra en pequeñas propiedades del sur de Brasil. En sus evaluaciones estos autores consideran la calidad de hoja de yerba, los servicios ambientales y la producción de madera con ciclo de corta a 30-40 años al incorporar especies nativas a razón de 50-100 ejemplares por ha.

En la Argentina, para mejorar la productividad de los yerbales, *Araucaria angustifolia* y *Cordia trichotoma* han sido las especies nativas más recomendadas por su forma y calidad de madera, así como otras exóticas tales como *Paulownia tomentosa*, a razón de 40 a 80 árboles por hectárea (Cozzo 1982). Reutemann (2013) sugiere incorporar hasta 400 plantas por hectárea en forma mixta, incluyendo *Enterolobium contortisiliquum* por su aporte de nitrógeno, y especies maderables tales como *Araucaria angustifolia*, *Parapiptadenia rigida*, *Peltophorum dubium*, *Bastardiopsis densiflora*, y *Cordia trichotoma*, entre otras. En el mismo contexto, González (2013) indica el uso de *Grevillea robusta*, *Araucaria angustifolia* y *Toona ciliata* a distancias de 15 m x 15 m dentro de los yerbales. Este autor observó los beneficios que representan para la hoja de yerba la disminución de la intensidad del viento y el amortiguamiento del daño por granizo, además de las ventajas microclimáticas que genera la sombra, así como los efectos beneficiosos para el suelo y el reciclaje de nutrientes.

En la Provincia de Misiones, los sistemas agroforestales son la base para la recuperación de yerbales de baja productividad, así como para la actual producción de yerba orgánica, que se basa en producir conservando los recursos naturales (suelo, agua, aire y biodiversidad). El manejo de los recursos naturales debe tender al mantenimiento o incremento de la fertilidad, de la actividad biótica y de la diversidad biológica, con lo cual también se contribuye a disminuir los problemas de plagas y enfermedades en los cultivos. La agricultura orgánica valoriza los conocimientos tradicionales y las culturas campesinas e indígenas y a la vez produce alimentos más sabrosos y saludables (Humane Society International 2010).

Asimismo, los productos orgánicos pueden tener un valor agregado que eleva el precio recibido por el agricultor. Por ejemplo, productores de café orgánico certificado bajo sombra de dosel arbóreo en Centroamérica (Costa Rica) pueden acceder a un valor agregado mediante una

Certificación de “Amigo de las Aves” que otorga el Smithsonian Migratory Bird Center (Eco-Lógica 2013). Además, los sistemas de producción orgánicos en SAF pueden contribuir a la biodiversidad. Estudios realizados por Cockle et al. (2005) en plantaciones de yerba bajo dosel de árboles nativos en Paraguay indican que el 66% de las aves presentes en la reserva de un bosque primario cercano se encontraban en las copas y troncos de la plantación de yerba, con similar abundancia a la del bosque. Los parches de bosques primarios ubicados dentro de áreas productivas resultan cruciales para favorecer la diversidad de aves (Cockle et al. 2010).

La identificación de las especies y las densidades de plantación de árboles para combinar con cultivos de yerba deben estar basadas en las preferencias de los productores y en la información disponible a partir de un rango de posibilidades, relacionadas con la potencialidad de las mismas para adaptarse a los nuevos ecosistemas (Dhakal et al. 2005, Montagnini et al. 2011). En la provincia de Misiones, muchas especies de potencial interés para el productor están consideradas en estado vulnerable, categorizadas como especies “monumento natural,” como el caso de *Araucaria angustifolia*, *Aspidosperma polyneuron*, y *Handroanthus heptaphyllus* (Ley Provincial XVI n°19 y 91). La incorporación de las especies nativas a estos sistemas productivos requiere la disponibilidad de material de propagación, lo cual lleva a acciones que también benefician a la conservación del recurso (Niella et al. 2013).

En este trabajo se presentan especies nativas de interés y su potencialidad de uso en plantaciones de yerba mate. La menor cosecha de yerba que resulta de la presencia de árboles en el sistema agroforestal puede ser compensada por un mejor precio por el producto orgánico, por la producción de madera y por los beneficios ambientales que brinda el sistema. Utilizando modelos de crecimiento, diámetro y altura total, a partir de una serie histórica de datos, se estimaron los potenciales de crecimiento de las especies nativas seleccionadas. Para el sistema propuesto se consideraron únicamente las especies que sobrevivieron en sus primeras etapas de crecimiento en diferentes situaciones experimentales.

Asimismo, se pretende llegar a estimaciones de la rentabilidad financiera de estos SAF. La valoración económica de bienes producidos a precio de mercado lograría un mayor nivel de ingreso de la familia rural posibilitando mejorar los indicadores de desarrollo humano de la población (PNUD 2013). La valoración económica de los servicios ambientales (agua, fauna, paisaje, medicinales, biodiversidad, stock de carbono) podrá contribuir a mejorar el comportamiento de los indicadores de productividad de cada sitio, así como incrementar el valor económico del terreno (Romero 1994). La producción forestal, entendida como rollos maderables posibilitaría estimar indicadores de productividad (Porter 1991) para cada uno de los sitios. Definida una estructura de costos se podrán establecer indicadores económicos en la etapa inicial de la plantación. Con datos de costos, usando el valor de mercado local, se estimó el “valor futuro” del área plantada, empleando diferentes tasas de interés (Justo 1978).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 El cultivo de la yerba mate

Ilex paraguariensis es un árbol siempre verde, nativo de la selva subtropical oriental, formando parte del estrato medio, con alta tolerancia a la sombra, y con preferencia por sitios húmedos y frescos (López et al. 2002). Estas características la indican como una especie que puede ser plantada a la sombra y también puede ser cultivada a cielo abierto, cuando es protegida inicialmente de la insolación directa, mediante la aplicación de pantallas que se orientan hacia el Noroeste. Su plasticidad y alta sobrevivencia en sistemas productivos, la colocan entre las especies nativas de mayor superficie de plantación en Misiones, características que también propician su adaptación para sistemas agroforestales.

Son numerosas las marcas de yerba producidas, envasadas y comercializadas en la Provincia de Misiones que cuentan con certificación orgánica (OIA, ARGENCERT, Rainforest Alliance, JAS, entre otras). Para lograr esta certificación, además de otras técnicas conservacionistas, se deben incluir árboles nativos en el sistema productivo, las cuales se espera que además de incorporar biodiversidad, generen un ambiente de sombra para las plantas de yerba.

En general, en los sistemas de yerba mate orgánica se espera que se presenten entre 80 a 120 árboles ha⁻¹ en el dosel superior y que se atienda “con conducción” a los diferentes tamaños de renovales que surgen de la regeneración natural. Esta regeneración, que genera los diversos estratos del dosel, se irá incrementando en el tiempo en número de individuos y especies. Las actividades de limpieza se realizan con aplastamiento o macheteo de la vegetación dos a tres veces al año, previo a la cosecha de yerba. En estos establecimientos se encuentran bosquetes o fajas ecológicas y bosques protectores de arroyos y pendientes y se priorizan las formaciones de corredores biológicos de flora y fauna. Los árboles, cuando plantados, se colocan en diferentes posiciones, ya sea en la misma línea de yerba o entre las fajas. En el caso de yerbales viejos, los árboles de especies nativas se plantan generalmente en los sitios en los que falta una planta de yerba.

En todos los casos, las plantaciones deben realizarse en un pozo de por lo menos 80 cm de profundidad. Las raíces deben lograr en una primera etapa de adaptación y alcanzar la napa freática para independizarse del agua de lluvia. Las plantas deben ser de buena calidad (sanas, de 20 a 40 cm de altura, producidas en macetas o contenedores) y se deberá atender a la época de plantación (segunda quincena de agosto a octubre) fuera del peligro de heladas, temperaturas elevadas y/o sequías. Estas consideraciones han sido también propuestas por Baggio et al. (2008) para SAF de yerba mate en el sur de Brasil.

2.2 Descripción del sitio experimental

Los diferentes ensayos y plantaciones de *Ilex paraguariensis* con árboles de los cuales se extrajo información para el presente trabajo están ubicados en la Provincia de Misiones, NE de Argentina. El clima de la región es subtropical húmedo sin estación seca, con una precipitación media anual de 2.020 mm, distribuida uniformemente durante el año y una temperatura media anual de 22°C (Silva et al. 2008). Los periodos fríos en el invierno son cortos pero pueden registrar mínimas de hasta -7°C y son comunes las heladas tempranas (abril) y tardías (septiembre). Los veranos son muy cálidos, con temperaturas que llegan hasta los 40°C. Es común que se presenten sequías en cualquier época del año.

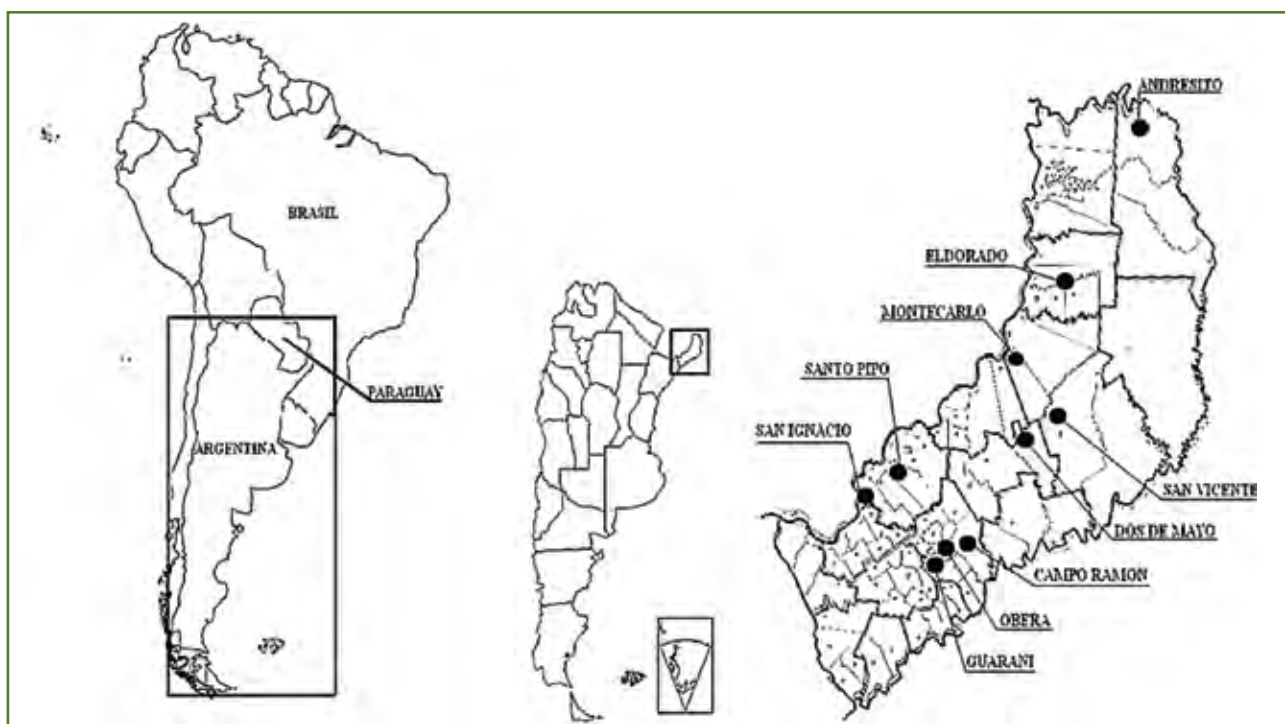


Figura 1. Mapa de Sudamérica, Argentina y la ubicación de la Provincia de Misiones, con los sitios incluidos en este trabajo.

En este trabajo utilizamos datos basados en antecedentes de estudios previos y visitas a diferentes emprendimientos de producción de yerba orgánica en las localidades de Andresito, San Ignacio, Santo Pipó, Campo Ramón, Eldorado, Montecarlo, San Vicente, Oberá, Guaraní y Dos de Mayo en la Provincia de Misiones, Argentina, (Montagnini et al. 2011; Figura 1). Las especies nativas acompañando a la yerba, “conducidas” a partir de la regeneración natural en estos trabajos anteriores (Montagnini et al. 2011) fueron: *Acrocomia aculeata*, *Albizia hasslerii*, *Annona sp.*, *Apuleia leiocarpa*, *Araucaria angustifolia*, *Arecastrum romanzoffianum*, *Aspidosperma polyneuron*, *Ateleia glazioviana*, *Balfourodendron riedelianum*, *Bastardiopsis densiflora*, *Cabralea canjerana*, *Cecropia pachystachya*, *Cedrela fissilis*, *Cordia trichotoma*, *Cordia americana*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Euterpe edulis*, *Holocalyx balansae*, *Jacaranda semiserrata*, *J. micrantha*, *Lonchocarpus muehlbergianus*, *Machaerium sp.*, *Myrocarpus frondosus*, *Nectandra lanceolata*, *Nectandra megapotamica*, *Ocotea puberula*, *Parapiptadenia rigida*, *Peltophorum dubium*, *Solanum granulosum-leprosum*, *Trema micrantha*, y *Handroanthus heptaphyllus*. Varias de estas especies han demostrado buen crecimiento y adaptabilidad en otros ensayos en Misiones (Eibl et al. 2000, Crechi et al. 2003, Montagnini et al. 2006, Barth et al. 2008). En este mismo trabajo (Montagnini et al. 2011) se indicó el aporte de las especies en el sistema y se recomendaron algunas especies para acompañar a las plantas de yerba en SAF.

Estos datos provienen en parte de proyectos llevados adelante por la Universidad Nacional de Misiones en el Departamento de Eldorado, donde se ensayaron diferentes especies nativas asociadas con yerba. Éstos se establecieron con fines de investigación y actualmente se utilizan como áreas demostrativas. Son los siguientes:

- 1- Un ensayo ubicado sobre la Avenida Fundadora en la localidad de Eldorado que consta de plantaciones de yerba pura plantada a 1,5 m x 3 m y en mezcla (yerba a 1,5 m x 6 m con especies forestales nativas intercaladas a 3 m x 6 m). Las especies asociadas fueron *Enterolobium contortisiliquum*, *Balfourodendron riedelianum* y *Handroanthus heptaphyllus* (Eibl et al. 2000).

Desde el momento de la plantación, fueron monitoreados los crecimientos en diámetro y altura de las especies nativas intercaladas con la yerba (Barth et al. 2008, Eibl et al. 2012), la productividad por planta (Eibl et al. 2000), los cambios en el suelo y la calidad de hoja de yerba (Day et al. 2011) y la fijación de carbono en especies maderables (López et al. 2012).

- 2- Un segundo ensayo, ubicado en propiedad de la Escuela Agrotécnica de Eldorado, que consta de una plantación de yerba instalada en los años 1985 y 1988, sobre 5 ha plantadas a diferentes densidades: 3 m x 1,25 m; 3 m x 1,5 m y 3 m x 1,8 m. En una primera etapa en 1985 (ensayo de árboles remanentes), se dejaron los árboles nativos que se encontraban presentes a partir de la regeneración natural: *Cordia trichotoma*, *Machaerium sp.*, *Myrocarpus frondosus*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Cedrela fissilis*, *Bastardiopsis densiflora* y *Holocalyx balansae*. En la segunda etapa, en 1988, en otro sector del sitio experimental, además de la yerba, en las densidades indicadas anteriormente, se plantaron especies nativas con un fin maderable y de restauración, basándose en recomendaciones realizadas por el Señor Alberto Roth (Gallero 2013), en una visita que el Profesor Eduardo Esterche realizara en 1978 a los ensayos de yerba bajo dosel de árboles en la localidad de Santo Pipó (Montagnini et al. 2011). La selección de las especies a implantar sugería un grupo de maderables leguminosas, considerando su potencial de restauración: *Pterogyne nitens*, *Enterolobium contortisiliquum*, y *Anadenanthera colubrina*.

Ambos sitios están vinculados con una reserva de bosque primario ubicada al margen de la plantación de yerba. Debido a sus múltiples beneficios el estado nacional ha promovido recientemente la conservación de estos remanentes y la restauración o recuperación de los mismos (Ley Nacional 26331).

La incorporación de especies nativas en las plantaciones de yerba provee de otros recursos tales como flores, frutas y semillas. Según datos de observaciones fenológicas sistemáticas y épocas que indican el momento óptimo de cosecha (Eibl et al. 1997, Eibl et al. 2012), se elaboró una tabla de fechas de floración y fructificación para el mismo grupo de especies de interés. Esta información es considerada de utilidad para los productores de yerba que también requieren flores para la apicultura y el paisaje, así como frutas para la fauna y consumo familiar y semillas para abastecer los viveros.

3.2 Análisis económico

En el análisis económico se consideró como situación inicial la existencia de la plantación de yerba mate y como situación nueva, la plantación de especies nativas maderables; es decir, lo que puede considerarse como un “enriquecimiento” al sitio. Los datos preliminares de sobrevivencia de las especies y crecimiento en diámetro y altura, permiten realizar estimaciones económicas tempranas, de acuerdo con los costos incurridos para un total de 100 árboles por hectárea (Hosokawa 1986). Así, en el año 0 se desarrollaron tareas de macheteo, marcación, excavación de pozos, plantación de 200 árboles por hectárea, tutoramiento y mantenimiento hasta el primer año. Las erogaciones correspondieron a la compra de los plantines y de tutores y al alquiler de la excavadora manual. La remuneración de la mano de obra familiar, en términos de jornales empleados, fue considerada en la estructura de costos sin que haya habido realmente una erogación; su valor fue calculado conforme se establece el Régimen de Trabajo Agrario, Decreto 301/2013 Reglamentación de la Ley Nacional 26727.

Desde el año 1 al 10 se realizó el “mantenimiento del área plantada” que representa jornales de “macheteo” dos veces por año, más el pago de tasa municipal e impuesto inmobiliario. El ingreso monetario corresponde a la “ayuda económica no reintegrable” que se produce en el año 2, ingreso contemplado por Ley Nacional 25080 “inversiones para bosques cultivados” (prorrogado por Ley Nacional 26432) y Normas Complementarias. El valor para la Selva Paranaense, Provincia de Misiones para 1,0 hectárea representa \$8.770 (100%) y \$7.016 (80%) destinado como Ayuda Económica no Reintegrable (AENR) que percibe el propietario. Se emplearon tasas de interés de 2%, 4% y 6% para estimar el valor de cada árbol a los 10 años.

La primera valoración económica realizada fue la de la madera en pie, según dimensión y destino de uso de la biomasa (Justo 1978). La subsiguiente debería ser la valoración económica de los servicios ambientales en función de la fijación de carbono (Vaccaro et al. 2003), así como las funciones de mejora de la biodiversidad y el paisaje, es decir considerando el uso múltiple de las especies (Hosokawa y López 1995, Hosokawa y Eibl 1996, Ley 26331 Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de Bosques Nativos, Argentina). El tipo de cambio de pesos argentinos a dólar estadounidense utilizado fue el vigente en 2014 que equivale a pesos \$8,0:1,0 US\$.

Los antecedentes de modelos de crecimiento para las especies nativas obtenidos a partir de ensayos monitoreados anualmente, permiten estimar un turno potencial de árboles con fines maderables y leña que acompañan el potencial productivo de la cosecha anual de hojas a partir de la plantación de yerba.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Crecimiento y adaptabilidad de especies asociadas a la yerba mate en SAF

Con base en los antecedentes mencionados se elaboró una lista de especies potenciales para acompañar al cultivo de *I. paraguariensis* (Eibl y Montagnini 1998, López et al. 2002, Baggio et al. 2008, Montagnini et al. 2011; Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de crecimiento y requerimientos ambientales, para un grupo de especies nativas maderables y de uso múltiple, indicadas para combinar con *Ilex paraguariensis* presentadas en orden de cualidades y/o preferencias, comenzando por las de crecimiento monopódico, seguidas por las de crecimiento simpódico.

Especie	Fuste, copa, follaje y crecimiento*	Requerimientos ambientales al momento de la plantación y durante los primeros años**
<i>Cordia trichotoma</i>	Árbol del dosel superior e intermedio. Monopódico. Copa media. Follaje caducifolio. Crecimiento medio	Heliófila. Tolera sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Árbol del dosel superior e intermedio. Monopódico. Copa pequeña. Follaje semicaducifolio. Crecimiento lento	Semiheliófila. Requiere sitios de mediana fertilidad. Sensible a insolación directa.
<i>Bastardiopsis densiflora</i>	Árbol del dosel intermedio. Monopódico. Copa amplia. Follaje semicaducifolio. Crecimiento rápido.	Heliófila. Requiere sitios de mediana fertilidad. Tolerante a insolación directa.

sigue

Especie	Fuste, copa, follaje y crecimiento*	Requerimientos ambientales al momento de la plantación y durante los primeros años**
<i>Nectandra lanceolata</i>	Árbol del dosel intermedio. Monopódico. Copa media. Follaje persistente. Crecimiento rápido.	Semiheliófito. Tolera sitios de baja fertilidad. Sensible a insolación directa.
<i>Araucaria angustifolia</i>	Árbol del dosel superior. Monopódico. Copa amplia. Follaje persistente. Crecimiento rápido.	Heliófito. Requiere suelos profundos de mediana fertilidad. Resistente a heladas leves. Baja tolerancia a sequías. Tolera sombra. Sensible a insolación directa.
<i>Eugenia involucrata</i>	Árbol del dosel inferior. Monopódico y/o simpódico. Copa pequeña. Follaje persistente. Crecimiento lento.	Semiheliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolera sombra. Sensible a insolación directa.
<i>Euterpe edulis</i>	Palma del dosel intermedio. Monopódico. Copa pequeña. Follaje persistente. Crecimiento medio.	Semiheliófito. Requiere sitios húmedos. Tolerante a heladas leves. Baja tolerancia a sequías. Sensible a insolación directa
<i>Jacaranda micrantha</i>	Árbol del dosel intermedio. Monopódico y simpódico. Copa media. Follaje caducifolio. Crecimiento medio.	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Palma del dosel intermedio. Monopódico. Copa pequeña. Follaje persistente. Crecimiento medio.	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Cedrela fissilis</i>	Árbol del dosel intermedio. Monopódico y simpódico. Copa media. Follaje caducifolio. Crecimiento rápido.	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Árbol del dosel superior. Monopódico. Copa amplia. Follaje persistente. Crecimiento lento.	Semiheliófito. Requiere suelos profundos de mediana fertilidad. Tolera sombra. Inicialmente sensible a insolación directa.
<i>Helietta apiculata</i>	Árbol del dosel intermedio. Monopódico y simpódico. Copa pequeña. Crecimiento medio.	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Inicialmente sensible a insolación directa.
<i>Schefflera morototoni</i>	Árbol del dosel intermedio. Monopódico. Copa amplia. Follaje persistente. Crecimiento rápido.	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Inicialmente sensible a insolación directa.
<i>Aralia warmingiana</i>	Árbol del dosel superior. Monopódico. Copa media. Follaje caducifolio. Crecimiento rápido.	Semiheliófito. Requiere suelos profundos de mediana fertilidad. Inicialmente sensible a insolación directa.
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Árbol del dosel superior e intermedio. Monopódico y simpódico. Copa media. Follaje semicaducifolio. Crecimiento rápido	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Peltophorum dubium</i>	Árbol del dosel superior. Monopódico y simpódico. Copa amplia. Follaje caducifolio. Crecimiento rápido.	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Árbol del dosel superior. Simpódico. Copa amplia. Follaje caducifolio. Crecimiento medio.	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Handroanthus albus</i>	Árbol del dosel medio. Simpódico. Copa media. Follaje caducifolio. Crecimiento medio.	Heliófito. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Se adapta a sitios inundables. Tolerante a insolación directa.

continuación cuadro 1

Especie	Fuste, copa, follaje y crecimiento*	Requerimientos ambientales al momento de la plantación y durante los primeros años**
<i>Handroanthus pulcherrimus</i>	Árbol del dosel medio. Simpódico. Copa media. Follaje caducifolio. Crecimiento medio.	Heliófila. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Myrcarpus frondosus</i>	Árbol del dosel superior. Simpódico. Copa pequeña. Follaje semicaducifolio. Crecimiento lento.	Semiheliófila. Requiere suelos profundos de mediana fertilidad. Tolera sombra. Inicialmente sensible a insolación directa.
<i>Cabralea canjerana</i>	Árbol del dosel medio. Monopódico y simpódico. Copa media. Follaje semicaducifolio. Crecimiento medio.	Semiheliófila. Requiere suelos profundos de mediana fertilidad. Inicialmente sensible a insolación directa.
<i>Plinia rivularis</i>	Árbol del dosel inferior. Simpódico. Copa pequeña. Follaje persistente. Crecimiento lento.	Semiheliófila. Requiere suelos profundos de mediana fertilidad. Tolera sombra. Inicialmente sensible a insolación directa.
<i>Pterogyne Nitens</i>	Árbol del dosel medio. Simpódico. Copa amplia. Follaje caducifolio. Crecimiento medio.	Heliófila. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Árbol del dosel superior. Simpódico. Copa amplia. Follaje caducifolio. Crecimiento rápido.	Heliófila. Se adapta a sitios de baja fertilidad. Tolerante a insolación directa.

* y ** corresponden a observaciones en ensayos de plantación y regeneración natural.

Una de las características deseables de las especies que acompañan a la yerba es el crecimiento en un eje único (monopódico), como es el caso de *Cordia trichotoma*, *Balfourodendron riedelianum*, *Bastardiopsis densiflora*, *Araucaria angustifolia*, *Nectandra lanceolata*, *Euterpe edulis*, *Jacaranda micrantha*, *Syagrus romanzoffiana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Schefflera morototoni*, y *Aralia warmingiana*. Además es preferible que tengan una copa mediana a pequeña y un follaje permeable a la luz (Baggio et al. 2008), como es el caso de *Balfourodendron riedelianum*, *Eugenia involucrata*, *Jacaranda micrantha*, *Euterpe edulis*, *Syagrus romanzoffiana*, *Aralia warmingiana*, *Helieta apiculata*, y *Anadenanthera colubrina*. El aporte de hojarasca deberá beneficiar al reciclaje de nutrientes (Fernández et al. 1997, Ilany et al. 2010), y se espera que el sistema radicular sea poco competitivo con las raíces de la yerba mate. Finalmente, en todos los casos se espera que las especies presenten un buen crecimiento y tengan un buen valor de mercado (Figura 2).

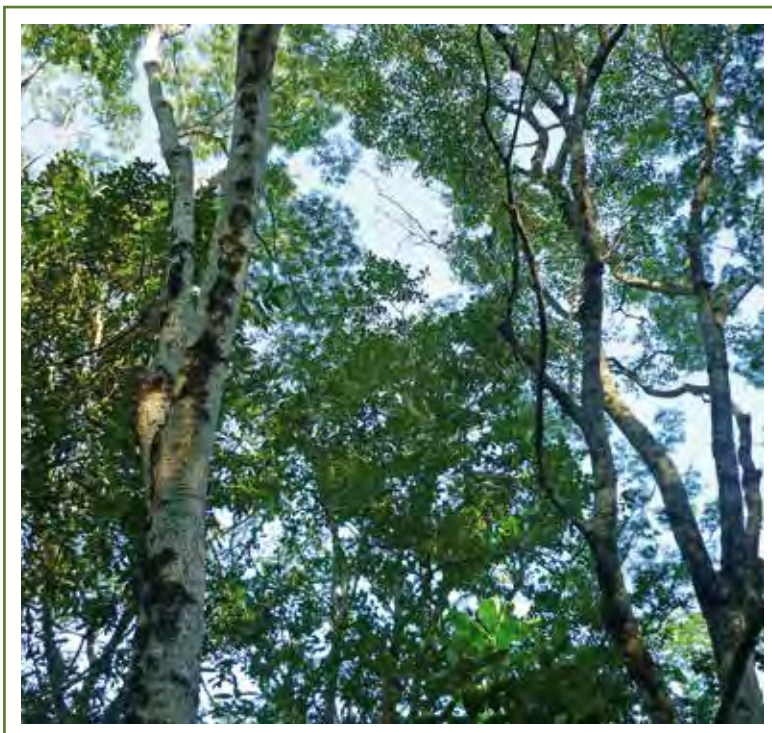


Figura 2. Dosel estratificado de árboles que permite un adecuado pasaje de radiación solar, favorable para un sistema agroforestal con yerba mate. Foto: B. Eibl.

Varias especies que tienen buen crecimiento de tipo simpódico, cuando son incluidas en el sistema productivo, debido a la restricción lateral de luz por competencia, sus copas toman forma invertida y se induce la poda natural. En estos casos se recomienda su presencia, aunque en densidades relativamente bajas. En este grupo se encuentran varias especies de madera de alto valor tales como *Cedrela fissilis*, *Peltophorum dubium*, *Pterogyne nitens*, *Handroanthus* sp. y *Myrocarpus frondosus*.

Las especies que crecen mejor a la sombra tales como *Euterpe edulis*, *Myrocarpus frondosus*, *Cabralea canjerana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Eugenia involucrata*, y *Aralia warmingiana* se incluirán en etapas posteriores, requiriendo de pequeños claros para un mejor crecimiento.

En los ensayos de plantaciones con yerba en el sitio de Avenida Fundadora en Eldorado, fue incorporado por su valor paisajístico y maderable el lapacho negro, actualmente conocido como *Handroanthus heptaphyllus*, especie declarada Monumento Provincial. Luego de un rápido crecimiento inicial, los árboles de esta especie se estancaron en diámetro y altura, lo cual también ha sido observado por Baggio et al. (2011), característica posiblemente vinculada a la formación del duramen. Su permanencia en el sitio por mayor tiempo puede ser considerada por su aporte a la fijación de carbono, lo cual fue determinado a edades tempranas por López et al. (2012; ver también López, este volumen). Esto también lo destaca Santos et al. (2011).

Balfourodendron riedelianum, de crecimiento lento, con copa pequeña y desrame natural, es una especie ideal para acompañar a *I. paraguariensis* (Figura 3). En los ensayos en Eldorado *Enterolobium contortisiliquum* presentó alta mortalidad, debido posiblemente a las podas que se efectuaran oportunamente. En este sitio se observa, a los 20 años de instalado el ensayo, una importante regeneración de especies útiles tales como *Cabralea canjerana*, *Nectandra lanceolata*, *Peltophorum dubium* y *Jacaranda micrantha*, a partir de semillas provenientes de la reserva forestal adyacente al ensayo (Figura 4, Cuadro 2).



Figura 3. Poda natural del fuste y copa pequeña en árboles de *Balfourodendron riedelianum* en plantación asociado con yerba mate. Foto: B. Eibl.



Figura 4. Regeneración natural de *Cabralea cancharana* debajo de plantaciones de especies nativas de 20 años de edad en ensayos en Eldorado, Misiones. Foto: B. Eibl.

En el ensayo instalado en 1985 de árboles remanentes de la Escuela Agrotécnica de Eldorado se destacan por su buen crecimiento *Cordia trichotoma* (Figura 5) y *Bastardiopsis densiflora*, además de la presencia de ejemplares de *Machaerium* sp., *Myrcarpus frondosus* y *Syagrus romanzoffiana*, con lo cual se encuentra un total de 40 ejemplares en el dosel superior por hectárea. En el mismo sitio también se encuentra una importante regeneración natural de *Balfourodendron riedelianum*, *Bastardiopsis densiflora*, *Cabralea canjerana*, *Cecropia pachystachya*, *Cedrela fissilis*, *Cordia trichotoma*, *Cordia americana*, *Machaerium* sp., y *Nectandra lanceolata*, lo cual genera los diferentes estratos discetáneos (es decir, de distintas edades por las diferencias en los tiempos de plantación y de regeneración) de copas.



Figura 5. Árbol adulto de *Cordia trichotoma* en ensayo de plantaciones mixtas con especies nativas en Escuela Agrotécnica de Eldorado, a los 30-40 años de edad. Foto: B. Eibl.

De la segunda etapa instalado en 1988, las especies presentes *Pterogyne nitens*, *Enterolobium contortisiliquum* y *Anadenanthera colubrina* son de copas amplias que toman la forma de “copa invertida”, y presentan desrame natural por competencia entre las copas. A los 22 años de plantados, los árboles de *Enterolobium contortisiliquum* se mantenían sanos, posiblemente beneficiados por no haber recibido podas (Cuadro 2, Figura 6).



Figura 6. Copa invertida por competencia en *Enterolobium contortisiliquum*, a los 22 años de plantación en ensayo en Escuela Agrotécnica de Eldorado, sin poda. Foto: B. Eibl.

Cuadro 2. Datos promedios de altura total estimada y de fuste medido en metros (m) y diámetro a la altura del pecho (dap) en centímetros (cm) para las especies maderables incluidas en plantaciones con *I. paraguariensis*, para dos sitios en la localidad de Eldorado.

Sitio	Especie (edad)	Altura total (m) promedio estimado	Altura fuste (m) promedio	dap (cm) promedio
Avenida Fundadora	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (20 años)	12,4	4	17,8
	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (22 años)	11,9	6,2	12,2
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (22 años)	14	3,8	27,8
Escuela Agrotécnica	<i>Cordia trichotoma</i> (entre 30 y 40 años estimado)*	24	16	56
	<i>Bastardiopsis densiflora</i> (entre 20 y 30 años estimado)*	20	8	44
	<i>Pterogyne nitens</i> (25 años)	14	2	57
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (25 años)	12	3	52
	<i>Anadenanthera colubrina</i> (25 años)	12	6	32

*Edades estimadas, las dos especies son de regeneración natural.

3.2 Otros beneficios y productos de las especies asociadas a la yerba mate en SAF

En muchos yerbales asociados con otras especies es común encontrar árboles huecos de gran porte y otros muertos que permanecen en el área, propiciando la presencia de aves que anidan en huecos y que se alimentan de insectos y roedores, tal como lo mencionan y recomiendan Cockle et al. (2010; Figura 7). La presencia de aves también se beneficia en este caso con el bosque remanente alledaño (Cockle et al. 2005).

En la producción de yerba orgánica en el municipio de Turvo, Brasil, Santos et al. (2011) hallaron que cuanto mayor es la biodiversidad y cuanto más complejos son los estratos de vegetación asociada a la yerba mate, menores son los problemas de plagas y enfermedades. Las hojas de yerba se observan más sanas y brillantes en aquellas plantas que se encuentran a la sombra de los árboles y al borde del bosque (Day et al. 2011; Figura 8).



Figura 7. Troncos huecos en árboles muertos en pie, en sistema agroforestal de yerba mate con árboles nativos en Eldorado, Misiones. Foto: B. Eibl.



Figura 8. Dosel estratificado de árboles nativos en combinación con plantación de *I. paraguariensis*. Foto: B. Eibl.

La incorporación de especies nativas en forma mixta en el cultivo de *I. paraguariensis* propicia otros productos alternativos tales como flores, frutos y semillas de diversos usos. A estos fines se confeccionó el Cuadro 3, donde se presentan las épocas de floración y dispersión para las especies de mayor interés.

Cuadro 3. Épocas¹ de floración y fructificación, para un grupo de especies maderables y de uso múltiple indicadas para combinar con *I. paraguariensis*. El orden en que se muestran las especies sigue el mismo criterio que se utilizó para el Cuadro 1 (prioridades, preferencias).

Para Floración: * y Frutos maduros y dispersión: °												
ESPECIE/MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<i>Balfourodendron riedelianum</i>						°	°	°	°*	*	*	
<i>Cordia trichotoma</i>	*	*	*	*	*	*°	°	°	°			
<i>Nectandra lanceolata</i>	°	°								*	*	*°
<i>Bastardiopsis densiflora</i>							*	*	*°	°	°	
<i>Araucaria angustifolia</i>			*	*°	°	°	°					
<i>Eugenia involucrata</i>									*	°		
<i>Eugenia uniflora</i>								*	*	°		
<i>Myrciaria rivularis</i>								*	*	°	°	
<i>Euterpe edulis</i>	*			°	°	°	°	°	°*	*	*	*
<i>Jacaranda micrantha</i>							°	°	°	*	*	*
<i>Syagrus romanzoffiana</i>					°	°	°	°	*	*	*	*
<i>Cedrela fissilis</i>							°	°	*	*		
<i>Aspidosperma polyneuron</i>					°	°	°	°	°*	*	*	
<i>Helietta apiculata</i>	°	°	°	°					*	*	*	°
<i>Machaerium stipitatum</i>						*	*	°	°	°		
<i>Anadenanthera colubrina</i>							°	°	°	°*	*	
<i>Peltophorum dubium</i>	*	*	*	°	°	°	°					*
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>						*	*	*	*	°	°	
<i>Handroanthus albus</i>										*°	°	
<i>Handroanthus pulcherrimus</i>									*	*°	°	
<i>Myrocarpus frondosus</i>									*	*	*°	°
<i>Cabralea canjerana</i>	*°	*°	*°				*°	*°	*°	*°	*°	*°
<i>Pterogyne nitens</i>	*	*	*					°	°	°	°	*
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>							°	°	°*	*	*	

¹ Las épocas son estimativas ya que dependerán de la región, del sitio, de la exposición de la copa y del año meteorológico.

Las especies que se destacan para un fin paisajístico por sus flores de vistosos colores incluyen *J. micrantha*, *P. dubium*, y *Handroanthus* sp. y para la producción apícola (Figura 9), *N. lanceolata*, *B. densiflora*, *E. involucrata*, *E. uniflora*, *E. edulis*, y *M. frondosus*, aunque todas las especies son visitadas por las abejas, en procura de algún insumo. Todas, en diferentes momentos del año aportan frutos y semillas que son utilizados tanto para el consumo familiar, como por la fauna de aves y mamíferos, además de ser útiles pues favorecen la regeneración natural y sirven como material de propagación para viveros.



Figura 9. Flores de *Nectandra lanceolata*, de interés para la apicultura. Foto: B. Eibl.

3.3 Productos comercializables de especies indicadas para combinar con plantaciones de *I. paraguariensis*

Plantaciones productivas de especies nativas establecen un dosel arbóreo que aporta a la sustentabilidad de la actividad principal que es la producción de hoja verde de yerba. Los árboles generan recursos que pueden ser cuantificados en el tiempo (Cuadro 4), a pesar de que el productor no considere su aprovechamiento ya que cumplen principalmente una función ambiental.

Cuadro 4. Productos comercializables en el tiempo estimado para un grupo de especies maderables, leña y otros usos, indicadas para combinar con plantaciones de *I. paraguariensis*. El orden en que se muestran las especies sigue el mismo criterio que se utilizó para el Cuadro 1 (prioridades, preferencias).

Espece	Productos	Turno de corte estimado para madera o leña (años)	Tiempo de cosecha de otros productos (años)*
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	Flores, Frutos. Madera semidura, blanco crema.	30/40	Flores, Frutos (8 a 12)
<i>Cordia trichotoma</i>	Flores, Frutos. Madera semidura, oscura	20/40	Flores, Frutos (6 a 12)
<i>Nectandra lanceolata</i>	Flores, Frutos. Madera semidura.	20/40	Flores, Frutos (6 a 12)
<i>Bastardiopsis densiflora</i>	Flores, Frutos. Madera blanda, blanca.	18/30	Flores, Frutos (6 a 10)
<i>Araucaria angustifolia</i>	Frutos. Madera semidura, rojiza.	20/40	Frutos (desde 20)
<i>Eugenia involucrata</i>	Flores, Frutos. Madera semidura.	18/30	Flores, Frutos (4 a 6)
<i>Euterpe edulis</i>	Flores, Frutos. Cogollo comestible.	Cogollo comestible 10/18	Flores, Frutos (6 a 8)
<i>Jacaranda micrantha</i>	Flores, Frutos. Madera semidura, crema.	18/30	Flores, Frutos (8 a 12)
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Flores, Frutos.	-----	Flores, Frutos (8 a 12)
<i>Cedrela fissilis</i>	Flores, Frutos. Madera semidura, rojiza.	20/40	Flores, Frutos (8 a 12)
<i>Peltophorum dubium</i>	Flores, Frutos. Madera dura, rojiza.	20/40	Flores, Frutos (6 a 10)
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Flores, Frutos. Madera semidura, rojiza.	40/60	Flores, Frutos (desde 20)
<i>Helietta apiculata</i>	Flores, Frutos. Madera semidura, blanco crema.	8/12 (leña), 20/30 madera	Flores, Frutos (6 a 8)
<i>Machaerium stipitatum</i>	Flores, Frutos. Madera semidura, rojiza.	8/12 (leña), 18/40 madera	Flores, Frutos (6 a 10)
<i>Anadenanthera colubrine</i>	Flores, Frutos. Madera dura, oscura.	8/12 (leña), 18/40 madera	Flores, Frutos (6 a 10)
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Flores, Frutos. Madera blanda, grisácea.	18/40	Flores, Frutos (6 a 10)
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Flores, Frutos. Madera dura, oscura.	20/40	Flores, Frutos (6 a 12)
<i>Handroanthus albus</i>	Flores, Frutos. Madera dura, oscura.	20/40	Flores, Frutos (6 a 10)
<i>Handroanthus pulcherrimus</i>	Flores, Frutos. Madera dura, oscura.	18/40	Flores, Frutos (6 a 10)
<i>Myrcarpus frondosus</i>	Flores, Frutos. Madera dura, oscura.	40/60	Flores, Frutos (10 a 12)
<i>Cabralea canjerana</i>	Flores, Frutos. Madera dura, rojiza.	20/40	Flores, Frutos (10 a 12)
<i>Eugenia uniflora</i>	Flores, Frutos. Madera semidura.	8/12 (leña), 18/30 madera	Flores, Frutos (4 a 6)

*Las edades para floración y fructificación, turnos para madera y/o leña dependerán de los arreglos de plantación, las características genéticas, las condiciones ambientales y del sitio, la relación albura/duramen deseado y el destino del producto.

La Ley 26432 otorga una “ayuda económica no reintegrable” a plantaciones de especies nativas como “enriquecimiento.” En el análisis económico de la valoración de cada árbol a los diez años, se consideró la remuneración de mano de obra (no erogada por ser familiar), la marcación, costo de las plantas, costos de excavación manual, plantación, tutoramiento, macheteo, tasas municipales e impuesto inmobiliario al sitio, con un total al año 0 de \$3.767,5. Desde el año 1 al 10 se consideraron jornales de limpieza dos veces al año, para un total de \$726,0. El único ingreso proviene de la “ayuda económica no reintegrable” por enriquecimiento: \$7.016,0. Las tasas de interés fueron 2%, 4% y 6%. El tipo de cambio representa pesos \$8,0:1,0 US\$. Los valores estimados fueron de US\$ 5,11 árbol⁻¹ (2%), US\$ 5,14 árbol⁻¹ (4%) y US\$ 5,31 árbol⁻¹ (6%). Este análisis corresponde a la metodología de “Valoración al costo”, lo cual significa, evaluar al año 10 todos los costos incurridos y expresados al momento de la valoración e incluyendo el valor del dinero en el tiempo a una tasa de interés de 2, 4 y/o 6 %.

Si el agricultor vende cada árbol (valor promedio sin diferenciar por especie) al año 10 a 5,11 dólares por árbol significa que remuneró el capital invertido en un 2% anual, en cambio, si vendiera a 5,31 por cada árbol, significa que el capital se reinvertió anualmente al 6%. Si consiguiéramos el precio valorado al año 10 significa que recuperamos todo el dinero invertido, remunerando el capital invertido a la tasa de interés utilizada. Puede parecer que 5.11-5.6 dólares por árbol es muy poco valor, luego de 10 años, sin embargo esto puede interpretarse como que significa que no es tan caro producir nativas, ya que se ha logrado remunerar el capital invertido, o sea los costos incurridos, según tasas vigentes.

Considerando que haya un promedio de 100 árboles por hectárea, el ingreso por hectárea resulta atractivo. A los precios de mercado actuales estos valores son factibles de lograr por el agricultor en la región, de manera que es una actividad promisoriosa. Estas tasas de interés utilizadas en el presente análisis son las adecuadas para la actividad descrita (Hosokawa 1986, Hosokawa y López 1995).

Cuadro 5. Análisis económico de la valoración por árbol y para un total de cien árboles por hectárea (ha) para un grupo de especies maderables, indicadas para combinar con plantaciones de *I. paraguariensis*.

Tasa de interés	Valor por árbol al año 10	Valor por ha año 10
2	5,11	511
4	5,14	514
6	5,31	531

Valores en US\$

CONCLUSIONES

El aporte de nutrientes, la potencialidad de la restauración física y química de los suelos, la sombra para la yerba, el aporte de madera, el atractivo para la fauna, la mayor infiltración del agua de lluvia y el paisaje, fueron las características que más destacaron los propietarios al momento de evaluar el aporte de los árboles al sistema productivo de hojas de yerba.

Las plantaciones mixtas presentan un mayor aprovechamiento de la energía disponible, una mayor estratificación, generan diversificación de productos y mayor variedad de ambientes para favorecer la regeneración natural de otras especies. La mejor combinación es aquella que asocia especies por sus características de crecimiento, copa y follaje con que aporten a la restauración. Estos arreglos deberán considerar el porte y las exigencias lumínicas de cada una de las especies, características que también determinarán el número de individuos recomendados en el dosel superior. El crecimiento monopódico, la copa pequeña, el desrame natural y un follaje que permite el adecuado pasaje de luz, combinado con características de valor maderable, son los atributos requeridos para generar los beneficios de la sombra a la producción de hojas en la yerba.

En árboles de crecimiento lento y madera de calidad, como *Myrocarpus frondosus*, *Aspidosperma polyneuron*, *Araucaria angustifolia*, *Handroanthus heptaphyllus*, *Handroanthus albus*, y *Handroanthus pulcherrimus* la fijación de carbono es un aspecto de evaluación que debería ser considerado en el largo plazo, mientras que la conservación de estas especies se manifestó como el aspecto más relevante indicado por los productores.

En los sistemas agroforestales, los árboles nativos pueden mejorar la fertilidad del suelo, para evitar depender de la aplicación de fertilizantes y promover la sostenibilidad. Especies leguminosas como *Enterolobium contortisiliquum* y *Anadenanthera colubrina*, por su aporte de nitrógeno y su follaje permeable aunque de copa amplia, así como *Cedrela fissilis*, de buen crecimiento, aunque atacada frecuentemente por insectos, son especies que aunque valoradas por su madera y potencial de restauración, deberán ser incorporadas en bajas densidades.

En los espacios de restauración, la presencia de especies como *Solanum granulatum leprosum* (fumo bravo), *Baccharis* sp. (chirca), *Trema micrantha* (palo pólvora), *Cecropia adenopus* (ambay) y *Syagrus romanzofiana* (pindó), aunque sin valor económico maderable directo, aportan nutrientes al suelo, flores para las abejas y frutos para las aves durante todo el año, así como valiosos atributos paisajísticos.

En todos los casos las plantaciones cercanas a remanentes de bosques presentan menos daños por sequía, heladas e insectos y las hojas de yerba se encuentran más sanas. Agrega beneficios la conservación de los árboles más grandes que presentan cavidades en sus troncos en bosques primarios, bosques secundarios y en paisajes agrícolas.

Hay una marcada tendencia en la producción de productos orgánicos certificados en la Provincia de Misiones. La posibilidad del cultivo de yerba mate en sistemas agroforestales es una ventaja en este sentido, por lo cual son necesarios conocimientos adecuados para obtener mejores precios de la yerba mate y otros ingresos de los árboles y especies acompañantes. Los sistemas agroforestales de yerba mate orgánica con especies nativas, además de proveer ingresos mayores, cumplen funciones sociales importantes al diversificar la producción, y tienen asimismo funciones ambientales de aumentar la diversidad del paisaje, favorecer la fauna local y absorber carbono atmosférico.

La valoración económica de las especies nativas a los diez años, empleando diferentes tasas de interés (2%, 4% y 6%) representa valores de ingresos de US\$5,11 árbol⁻¹ (2%), US\$5,14 árbol⁻¹ (4%), US\$5,31 árbol⁻¹ (6%). Con un promedio de 100 árboles por hectárea, estos valores significan que la actividad es financieramente promisoría para la región. La biomasa de los árboles tendría diferentes destinos probables, desde rollos para aserrar a biomasa para energía. Según la especie los valores podrían resultar más atractivos.

Ante la necesidad de una reconversión productiva, y debido a la baja productividad del yerbal, sería conveniente evaluar los beneficios que implica la adopción de buenas prácticas y la certificación orgánica de las plantaciones, vinculados con las mayores posibilidades de entrada a mercados más exigentes pero que logran mayores precios para los productos.



Árbol nativo de grapia *Apuleia leiocarpa* en SAF de yerba bajo bosque natural en Misiones, Argentina. Foto: F. Montagnini.

BIBLIOGRAFÍA

- Baggio, AJ; Vilcahuaman, JM; Correa, G. 2008. Arborização na cultura da erva-mate, aspectos gerais, resultados experimentais e perspectivas. Colombo, Embrapa Florestas. 24 p.
- Baggio, AJ; Felizari, SR; Ruffato, A; Soarez, AO. 2011. Produção do componente arbóreo no sistema agroflorestal da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em Machadinho, RS. Actas, V Congreso Sudamericano de la Yerba Mate. [Posadas, Misiones, 5-6 mayo 2011]. p. 105-110.
- Barth, S; Eibl, BI; Montagnini, F. 2008. Adaptabilidad y crecimiento de especies nativas en áreas de recuperación del Nordeste en la Provincia de Misiones. Actas, XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [Eldorado, Misiones, Argentina, 5-7 jun. 2008]. p. 29.
- Burtnik, OJ. 2006. Yerba Mate: Manual de Producción. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Agencia de Estación Rural Santo Tomé, Corrientes, Argentina. 52 p.
- Cáceres, DM. 2003. Catálogo de tecnologías para pequeños productores agropecuarios: Manejo de yerbales con ovejas (en línea). Dirección de Desarrollo Agropecuario. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Disponible En: <http://www.buscagro.com/biblioteca/tecnologias/catalogo/tecnoc/43.htm>
- Cockle, KL; Leonard, ML; Bodrati, AA. 2005. Presence and abundance of birds in an Atlantic forest reserve and adjacent plantation of shade-grown yerba mate in Paraguay. *Biodiversity and Conservation* 14:3265-3288.
- Cockle, KL; Martin, K; Drever, MC. 2010. Supply of tree-holes limits nest density of cavity-nesting birds in primary and logged subtropical Atlantic forest. *Biological Conservation* 143:2851-2857.
- Cozzo, D. 1982. Notas sobre una tecnología agroforestal de interés, para la provincia de Misiones, Argentina: Las plantaciones arbóreas en alineación intercaladas con cultivos agrícolas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 7 p.
- Crechi, E; Domecq, C; Hennig, A; Fernandez, R; Eibl, B. 2003. Silvicultura inicial de tres especies latifoliadas nativas de interés económico en Misiones (*Cordia trichotoma*, *Balfourodendron riedelianum*, *Enterolobium contortisiliquum*). Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 14 p.
- Day, S; Montagnini, F; Eibl, B. 2011. Effects of native trees in agroforestry systems on the soils and yerba mate in Misiones, Argentina. Pp.99-112. In: Montagnini, F; Francesconi, W; Rossi, E. (Eds.). *Agroforestry as a tool for landscape restoration: challenges and opportunities for success*. New York, USA, Nova Science Publishers. 201 p.
- Dhakal, LP; Lillesø JPB; Kjær, ED; Jha, PK; Aryal, HL. 2005. Seed sources of agroforestry trees in a farmland context - a guide to tree seed source establishment in Nepal. *Forest and Landscape Development and Environment Series 1-2005*, Hørsholm, Denmark. Danish Centre for Forest, Landscape and Planning. 36 p.
- Eco-Lógica. 2013. Disponible En: <http://www.eco-logica.com/servicios-de-certificación/>
- Eibl, B; Silva, F; Bobadilla, A; Ottenweller, G. 1997. Fenología de Especies Forestales Nativas de la Selva Misionera. Segunda parte. *Yvyrareta* 8(8):78-87.
- Eibl, B; Montagnini, F. 1998. El potencial de las especies nativas en programas de plantación. Pp. 19-26 En: VI Jornadas Técnicas, Serie Técnica n°6, *Ecología de Especies Nativas de la Selva Subtropical Misionera*. Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Facultad de Ciencias Forestales (FCF). Eldorado, Misiones, Argentina.

- Eibl, B; Fernández, R; Kozarik, JC; Lupi, A; Montagnini, F; Nozzi, D. 2000. Agroforestry systems with *Ilex Paraguariensis* (American Holly or yerba mate) and native timber trees on small farms in Misiones, Argentina. *Agroforestry Systems* 48:1-8.
- Eibl, B; González, C; Otegui, M; Dreyer, N. 2012. Protocolos tentativos para la propagación de 20 especies nativas de interés productivo de la selva misionera. *Actas, 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*. FCF, UNaM, EEA Montecarlo, INTA. [Eldorado, Misiones, Argentina, 7-9 jun. 2012]. 10 p.
- Eibl, B; Barth, SR; Montagnini, F; Palavecino, J; Lopez, MA; Dreyer, N. 2012. Especies nativas de uso múltiple en áreas de restauración en la provincia de Misiones. *Actas, 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*. FCF, UNaM, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Montecarlo, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). [Eldorado, Misiones, Argentina, 8-9 jun. 2012]. 11 p.
- Fernández, R; Montagnini, F; Hamilton, H. 1997. The influence of native trees on soil chemistry in a subtropical humid forest region of Argentina. *Journal of Tropical Forest Science* 10:188-196.
- Gallero, MC. 2013. Entre la selva paranaense y el cultivo de la yerba mate: el aporte de Alberto Roth (1901-1985) a la historia ambiental de Misiones (Argentina) (en línea). *Revista Latino-Americana de História*. 2(8):53-74. Disponible En: <http://projeto.unisinos.br/rla/index.php/rla/article/viewFile/148/274>
- González, E. 2013. Yerbales bajo sombra de árboles, un sistema que genera beneficios (en línea). *Iguazú Noticias*. Disponible En: <http://iguazunoticias.com/v2011beta/2013/03/yerbales-bajo-sombra-un-sistema-que-genera-beneficios/>
- Hosokawa, RT. 1986. *Manejo e Economía de Florestas*. Roma. FAO. 125 p.
- Hosokawa, RT; López, MA. 1995. Valoración Económica del Ecosistema Bosque. Algunos aspectos a partir de la recuperación de áreas degradadas. *Yvyretá* 6:77-80.
- Hosokawa, RT; Eibl, B. 1996. Metodología para la Evaluación Socioeconómica de los Componentes de un Relatorio de Impacto Ambiental (RIMA). *Yvyretá* 7:57-61.
- Humane Society International. 2010. *Guía de Procedimientos de Certificación de Grupo de Productores Organizados (GPO) de Cacao Orgánico*. Eco-Lógica. San José, Costa Rica. Disponible En: <http://www.eco-logica.com/apoyo-al-productor>
- Ilany, T; Ashton, M; Montagnini, F; Martínez, C. 2010. Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. *Agroforestry Systems* 80(3):399-409.
- Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM). 2013. Disponible En: www.inym.org.ar
- Justo, EE. 1978. *Economía de la Empresa Forestal*. Escuela Técnica Superior de Montes. Ciudad Universitaria, Madrid, España. 249 p.
- Ley Provincial XVI n°19. Ex Ley Provincial 2380. Declara Monumento Natural Provincial a la *Araucaria angustifolia* (Pino paraná) y *Aspidosperma polyneuron* (Palo rosa). Misiones, Argentina.
- Ley Provincial XVI n°91. Ex Ley Provincial 4318. Declara Monumento Natural Provincial a *Handroanthus heptaphyllus* (Lapacho negro). Misiones. Argentina.
- Ley Nacional 25080. 1999. Ley de Inversiones para bosques cultivados. Argentina.
- Ley Nacional 26331. 2007. Bosques Nativos. Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos. Argentina.
- Ley Nacional 26432. 2008. Prórroga y Reforma la Ley 25080. Argentina.
- Ley Nacional 26727. 2011. Régimen de Trabajo Agrario. Argentina

- López, JA; Little, EL; Ritz, GF; Rombold, JS; Hahn, WJ. 2002. Árboles comunes del Paraguay. Ñande yryra mata kuera. Servicio Forestal Nacional. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Cuerpo de Paz. Paraguay, Ed. Gráfica Mercurio S.A. 456 p.
- López, LN; Montagnini, F; Keller, H. 2012. Biomasa y cantidad de carbono almacenado en *Tabebuia heptaphylla* en un sistema agroforestal con *Ilex paraguariensis*. Actas, 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM, EEA Montecarlo, INTA.[Eldorado, Misiones, Argentina, 7-9 jun. 2012].
- López, L.N. Biomasa y cantidad de carbono almacenado en *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, en un sistema agroforestal con *Ilex paraguariensis* St.Hil. Este volumen.
- Lytwin, L. 2011. Dejar de sólo sacar (en línea). El Productivo. Diario el Territorio. Misiones. Disponible En: www.territorio digital.com.
- Montagnini, F; Eibl, B; Fernández, R. 2006. Rehabilitation of degraded lands in Misiones, Argentina. Bois et Forêts des Tropiques 288:51-65.
- Montagnini, F; Eibl, B; Barth, S. 2011. Organic Yerba Mate: an environmentally, socially and financially suitable agroforestry system. Bois et Forêts des Tropiques 308(2):59-74.
- Montechiesi, R. 2007. Había una vez...un nobilísimo cultivo: La Yerba Mate. Buenos Aires, Argentina, Editorial Varesco y Asociados. 48 p.
- Niella, F; Eibl, B; Rocha, P; Grance, L; Maiocco, D; Vega, MV. 2013. Red de Árboles y Áreas Semilleras para la conservación, domesticación y rescate de recursos filogenéticos nativos de la Selva Paranaense. Proyecto SILVA 17. Componente Conservación de la Biodiversidad en Paisajes Productivos Forestales-GEF 090118. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP).
- Porter, M. 1991. La ventaja competitiva de las naciones. Buenos Aires, Argentina, Editorial Javier Vergara. 1025 p.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2013. Informe Nacional sobre Desarrollo Humano 2013, Argentina en un mundo incierto: asegurar el desarrollo en el siglo XXI (en línea). Disponible En: http://www.ar.undp.org/content/argentina/es/home/library/human_development/informe-nacional-sobre-desarrollo-humano-2013--argentina-en-un-m/
- Reutemann, G. 2009. Plantar árboles nativos en los yerbales ayuda a conservar el suelo y mejorar el rendimiento (en línea). Misiones, Argentina. Disponible En: www.misionesonline.net
- Reutemann, G. 2013. Los beneficios de plantar árboles en yerbales (en línea). InforMate Digital. Disponible En: <http://www.informatedigital.com.ar/ampliar3.php?id=23009&PHPSESSID=bf942222c689c01893719e2757333397>
- Romero, C. 1994. Economía de los recursos ambientales y naturales. Madrid, España, Alianza Editorial. 189 p.
- Santos, JCP; Savian, GCPS; Savian, M. 2011. Caracterização de sistemas agroflorestais de manejo de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) nativa no Município de Turvo, Paraná, Brasil. Actas, 5to Congreso Sudamericano de la Yerba Mate [Posadas, Misiones, 5-6 may. 2011]. p. 131-135.
- Silva, F; Eibl, B; Bobadilla, A. 2008. Características climáticas de la localidad de Eldorado, Misiones, Argentina. Actas, XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, FCF, UNaM, INTA. [Eldorado, Misiones, Argentina, 5-7 jun. 2008]. p. 58
- Vaccaro, S; Arturi, MF; Goya, JF; Frangi, JL; Piccolo, G. 2003. Almacenaje de carbono en estadios de la sucesión secundaria en la provincia de Misiones, Argentina (en línea). Interciencia 28(9): 521-527. Disponible En: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000900005&lng=es



Capítulo 8

MANEJO Y COMERCIALIZACIÓN ACTUAL DE UN CULTIVO ANCESTRAL: EL CASO DE LA GUAYUSA, *Ilex guayusa* LOES., EN LA AMAZONIA ECUATORIANA

Eliot Logan Hines¹, Juan F. Dueñas¹, Leonardo Cerda¹ y Maureen Stimola¹

¹Fundación Runa, Av. Rocafuerte C5-689 y Batallón Chimborazo, Archidona, Provincia de Napo, Ecuador.
www.fundacionruna.org, correo electrónico: eliot@runa.org

RESUMEN

La guayusa, *Ilex guayusa* Loes., es una planta nativa del noroeste de la Amazonia. Tradicionalmente ha sido usada y cultivada por las comunidades indígenas para preparar una bebida estimulante que se consume en las horas tempranas de la mañana. Debido a sus altos niveles de cafeína y antioxidantes, las hojas de guayusa son utilizadas como un estimulante natural. Runa es una empresa social que se encuentra en el proceso de establecer el primer mercado internacional y cadena de valor de guayusa. A partir de 2010 y hasta la fecha, Runa ha trabajado con aproximadamente 2.500 agricultores indígenas en la Amazonia ecuatoriana a los cuales compra hojas para procesarlas y comercializarlas. En la actualidad, Runa vende productos derivados de la guayusa en más de 5.000 tiendas en los Estados Unidos, Canadá y el Ecuador. Este capítulo se enfoca en el proceso de domesticación de la guayusa para su cultivo en sistemas agroforestales basados en el sistema ancestral de la chacra. Asimismo, se presenta un análisis de cómo la creación de la cadena de valor de guayusa apoya al sustento de formas de vida local y a la conservación de recursos naturales.





INTRODUCCIÓN

Durante miles de años, la Amazonia ha sido habitada por pueblos indígenas ancestrales que han desarrollado sistemas agrícolas complejos como medio de subsistencia. En la cúspide de las civilizaciones precolombinas, se estima que la Amazonia fue el hogar de más de 11 millones de personas (Mann 2005). Se cree que el colapso dramático de la población, que ocurrió alrededor del año 1600 D.C. debido a enfermedades, guerras y la migración, redujo la población hasta en un 95% (Denevan 1976). A diferencia de otras regiones del mundo, donde las civilizaciones indígenas se caracterizaron por la construcción de pirámides, monumentos de piedra y artefactos que perduraron a través de miles de años, los vestigios de los asentamientos amazónicos se perdieron precipitadamente merced al rápido desarrollo de la sucesión natural de los bosques. Debido a este factor, los investigadores científicos han tenido que utilizar variados métodos para poder inferir la historia de los pueblos amazónicos y su interacción con el medio ambiente. Como resultado de investigaciones arqueológicas, se han encontrado restos de ciudades con construcciones complejas como acueductos, canales y fosas a lo largo del río Xingú, en Brasil, que datan del año 800 d.c. (Carneiro 1957). En Bolivia, arqueólogos también descubrieron que ríos grandes fueron desviados para el fomento de la agricultura antes del nacimiento de Cristo (Forero 2010). La isla de Marajó, en la desembocadura del río Amazonas en el estado de Pará en Brasil, muestra evidencia de un sistema agrícola precolombino muy avanzado, que se estima servía para sostener a una población de aproximadamente 100.000 personas (Roosevelt 1991).

Hasta no hace mucho, entre académicos y la sociedad en general, existía una concepción de la Amazonia que consideraba a ésta como un ecosistema prístino cuyo paisaje no mostraba mayores rasgos de haber sido influenciado por la acción del hombre, fundamentalmente porque se pensaba que un ecosistema supuestamente clímax como el que fue encontrado por los colonizadores, es capaz solamente de sostener a pequeños grupos humanos de cazadores y recolectores nómadas. Por el contrario, como muchos autores señalan hoy en día (por ejemplo, Heckenberger et al. 2008, McMichael et al. 2014, entre otros), en este capítulo se sostiene que la Amazonia posee un historial extenso en cuanto al manejo agrícola utilizado para crear sistemas alimentarios sólidos y lo suficientemente estables como para soportar a las numerosas ciudades y pueblos que la Amazonia albergaba antes de la llegada de los españoles.

En efecto, numerosas especies amazónicas han sido utilizadas por las poblaciones indígenas durante milenios, como parte de sus sistemas de subsistencia. Estudios recientes referentes a la influencia de la acción humana sobre el paisaje amazónico precolombino, destacan la presencia de partes de bosques dominados por ciertas especies que eran utilizadas por poblaciones humanas en etapas precolombinas, por ejemplo, varias especies de bambú (*Guadua* spp.) y la nuez de Pará (*Bertholletia excelsa*), entre otras. Existe evidencia que confirma que la acción humana en épocas precolombinas ha afectado la distribución de las poblaciones de estas especies en el terreno, debido al uso y manejo de estas especies preferidas por los pobladores (McMichael et al. 2014).

Entre estas especies se encuentra la guayusa, *Ilex guayusa* Loes., una planta nativa del noroeste de la Amazonia, que ha sido tradicionalmente cultivada y usada por diferentes nacionalidades indígenas para preparar una bebida ritual, que actúa como estimulante y emético (Schultes 1972). Las principales nacionalidades indígenas que la emplean incluyen la kichwa del Napo, en Ecuador, y la awajún, en Perú; aunque al parecer serían muchas más, tal como lo señala Tessmann en su trabajo *Die Indianer Nordost-Peru* (Tessmann 1930, citado por Patiño 1968, s/f): omagua, kokama, panobo, kaschibo, koto, pioché, lamisto, kichos, kanelo, aguano, kandoschi, ssabella, chívaro, mayoruna, tschayahuita, tschamikuro, chebero, omurana, yagua, aischiri, ssimaku, okito, záparo, yameo y pintsche.

Este capítulo se enfoca en el proceso de creación de una nueva cadena de valor para guayusa y su relación con el manejo agroforestal ancestral de la Amazonia ecuatoriana. La empresa Runa busca promover la intensificación del cultivo en el marco de un sistema agroforestal multi-estrato, de características comerciales, basado en un programa de investigación científica que cubre aspectos de agronomía, genética, ecología, fitoquímica y conocimiento ancestral de la especie.

Se plantean los objetivos e interrogantes del proceso de domesticación de la guayusa, así como los desafíos planteados por la comercialización de esta planta, y la posible influencia de este esquema sobre las condiciones socioeconómicas de los agricultores.

1. HISTORIA DEL CULTIVO DE GUAYUSA

En 1541, los conquistadores españoles Orellana y Pizarro comenzaron su travesía a lo largo del curso superior del río Napo, para buscar el mítico valle de “La Canela.” A los conquistadores de la época les interesaba el oro y las especias y habían escuchado hablar de un valle mítico, similar a “El Dorado” que además de torres llenas de oro poseía un jardín colmado de canela y otras especias bastante rentables. Anteriormente a esta fecha, el fraile dominico Gaspar de Carvajal, en el relato que escribió acerca de las civilizaciones amazónicas, mencionó que existían “ciudades que brillaban blanco,” “canoas que llevaban decenas de guerreros indios,” “buenos caminos,” y “una tierra muy fructífera” (Carvajal 1934). Se puede ver la carretera antigua en la Figura 1. Irónicamente, los conquistadores nunca encontraron la canela que esperaban hallar. Ellos buscaban árboles del género *Cinnamomun* nativo de Arabia, Etiopía, India y Sri Lanka. Sin embargo, la “canela” amazónica es una planta de la especie *Ocotea quixos*, la cual conjuntamente con la guayusa representan dos de las especies más simbólicas de la cuenca superior de la Amazonia ecuatoriana, además de constituir componentes importantes de la chacra de las poblaciones indígenas.



Figura 1. La vía antigua entre Archidona y Quito. Foto: Fundación Runa.

“Chacra” es una palabra quechua que significa finca, la cual ha sido comúnmente empleada en Sudamérica. En Napo, Ecuador, la nacionalidad kichwa, que habla un dialecto del quechua, utiliza la palabra para describir sus huertas forestales. Se puede ver un ejemplo de la chacra kichwa en la Figura 2. En otros países más al sur de América Latina como Argentina y Chile se usa la palabra “chacra” para denominar a una finca que puede ser industrializada, de tamaño variable. La “chacra” kichwa comprende por lo general un área promedio de 0,5 ha (variando en un rango de entre 0,25-1,5 ha) y se basa en un sistema agroforestal de subsistencia que combina especies comestibles, maderables y medicinales. Aunque en la chacra el cultivo predominante es la yuca (*Manihot esculenta*) y sus distintas variedades, las chacras pueden estar compuestas de hasta 48 especies comestibles (Perreault 2005). Dentro de la chacra también coexisten plantaciones de orientación más comercial como el café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*) y naranjilla (*Solanum quitoensis*).



Figura 2. Un agricultor trabajando en su chacra en San José de Archidona, Napo, Ecuador. Se puede observar una diversidad de plantas en esta parcela pequeña de terreno limpiado dentro de la selva. Foto: Fundación Runa.

Mientras que las plantas comestibles y comerciales de la chacra kichwa tienen importancia directa para la subsistencia, las plantas medicinales tienen una significación especial revestida de un carácter mágico-religioso. Entre las varias especies medicinales cultivadas en la chacra kichwa, *Ilex guayusa* es la más comúnmente utilizada (Innerhofer y Bernhardt 2011).

1.1 Historia natural y botánica de *Ilex guayusa* Loes

La planta de guayusa pertenece al género *Ilex* presente en el continente tropical y subtropical de América y Oceanía, así como también en Asia y África e incluso en Europa con aproximadamente 500 especies (Loizeau et al. 2009, Jørgensen y León-Yáñez 1999). La guayusa cuenta con gran variedad de nombres comunes dependiendo de la lengua de los pueblos indígenas que la cultivan. Por ejemplo, sólo en kichwa sus nombres comunes son waysa, wayusa, huayusa y guayusa. La gente de nacionalidad kichwa afirma que existen diferentes variedades de guayusa que pueden ser distinguidas por su uso (variedad para baños o bebida) o su apariencia (una coloración verde o púrpura; Mamallacta 2013), pero hasta ahora no ha sido verificada una diferencia en la composición genética o morfológica de las poblaciones, que pueda indicar la presencia de una o más especies o variedades.

Existen registros de guayusa en el piedemonte andino-amazónico, desde el norte boliviano hasta el oeste venezolano (Figura 3). Se estima que la planta de guayusa puede existir en forma silvestre o cultivada en los bosques tropicales húmedos y en los ecosistemas pre-montañosos entre los 250 a 1.500 metros sobre el nivel del mar, aunque también se menciona que puede crecer hasta 2000 msnm. Hasta la fecha, todos los registros en museos de Ecuador provienen de plantas cultivadas. Sin embargo, en Perú sí se ha encontrado en bosques naturales llamados “Bosques andinos de perennes y deciduas,” en bosques dominados por *Dyctiocaryum* y *Wettinia*, en la provincia de Oxa-pampa (Loizeau 1994). En Ecuador, la planta de guayusa ha sido registrada en las provincias de Napo, Pastaza, Sucumbíos, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Pichincha, Loja y Tungurahua sin descartar la posibilidad de su existencia en otras zonas del país (Jørgensen y León-Yáñez 1999).



Figura 3. Mapa de distribución de la guayusa.

Las flores, frutos y semillas de *Ilex guayusa* no se encuentran con frecuencia (Shemluck 1979). Hay que señalar que como todos los miembros del género *Ilex*, se trata de una planta unisexual dioica; es decir, hay individuos con flores masculinas y otros individuos con flores femeninas. La condición de unisexual no implica que la reproducción no pueda ocurrir, sino que obviamente no hay semillas en ejemplares masculinos. Quizá debido a la dificultad en encontrar semillas, las plantas de guayusa se propagan casi exclusivamente mediante estacas leñosas o semi-leñosas, de tamaños variables tomados de una planta madura, es decir, mayor de cuatro años aproximadamente. Su fruto es verde o rojo y crece hasta alcanzar un centímetro de diámetro. La flor femenina de la guayusa posee una corola blanco-verdosa con pétalos obtusos de igual número de estambres y pétalos, anteras alargadas, y un ovario sub-sésil global que contiene de 4 a 6 cavidades (García Barriga 1992).



Figura 4. Un árbol de guayusa que tiene más de 100 años y una altura de 25 m. Foto: Fundación Runa.

Los árboles de guayusa alcanzan una altura media de 10 metros y un diámetro promedio a la altura del pecho de 50 a 80 centímetros. Dicho esto, se ha documentado que ocasionalmente los árboles de guayusa pueden alcanzar alturas de más de 25 metros (Figura 4). Típicamente, las plantas cultivadas de guayusa están constituidas por una multitud de troncos delgados y flexibles que nacen desde su base. Su corteza es de color blanquecino o café más claro durante la madurez y de color verde cuando la planta es joven.

La guayusa presenta brotes adventicios que la hacen apta para la poda intensiva y su respectivo rebrote (García Barriga 1992). Los brotes adventicios son aquellos que resultan de un proceso diferente al de la formación “normal” de las hojas y ramas, siendo muchas veces inducidos por heridas o cortes. Las hojas son alternadas con respecto a la rama, y se pueden identificar por ser simples, de forma oblonga-elíptica, de bordes aserrados, y de glabras a sub-glabras en el haz y el envés. Las hojas son coriáceas, de color verde oliva, creciendo de manera densa y formando una corona irregular (Figura 5). El tamaño típico de la hoja de guayusa es 15-21 cm de largo y de 5 a 7,5 cm de ancho, con pecíolos cortos de 1 cm de longitud (Loizeau y Barrera 2007).



Figura 5. Las hojas de la guayusa. Foto: Fundación Runa.

1.2 Aspectos ecológicos y agro-nómicos de la guayusa

La guayusa crece en las colinas de los Andes en una variedad de hábitats, desde valles, laderas de montaña, a terrenos planos, e incluso huertos y pastizales. Se desarrolla a temperaturas de 18 a 26°C con precipitaciones anuales de 1000 a 3000 mm. Es considerada en muchas regiones como una especie sub-arbórea, por lo que se encuentra generalmente en bosques secundarios y no en bosques densos. La zona de vida según la clasificación de Holdridge para la especie es de bosque húmedo tropical (bh T) y bosque seco premontano (bs PM; García Barriga 1992, Jørgensen y

León-Yáñez 1999). Se la encuentra en los siguientes tipos de vegetación: Bosque siempre verde de tierras bajas, Bosque siempre verde de tierras bajas inundable por aguas blancas, Bosque inundable de palmas de tierras bajas, Bosque siempre verde piemontano y Bosque siempre verde montano bajo (Collahuazo 2012). Sirve como refugio y alimento para aves como el gorrión, pacharaco, etc. Es una especie que crece en la huerta, en asocio con papa china, maní, yuca, guaba, limón, caimito y guayaba. En bosques se la encuentra asociada con sangre de drago (*Croton lechleri*), cedro (*Cedrela odorata*), llorasangre (*Otoba glicicarpa*), copal (*Dacryodes peruviana*), bella maría (*Calophyllum longifolium*), paja toquilla (*Phytelphas aequatorialis*), entre otras.

De acuerdo con su distribución geográfica, se observa que crece en suelos jóvenes (Entisoles), así como en suelos de meteorización reciente y de estado intermedio (Inceptisoles). Puede crecer en suelos de textura franco a franco arenosa con problemas de drenaje, drenaje superficial imperfecto (Collahuazo 2012). Se adapta tanto a suelos húmedos como a secos, tolera suelos compactados, aunque prefiere los drenados y fértiles, y se presume que tolera pH ácidos (5,0-5,5). Tiene un buen crecimiento en terrenos planos, de pendiente entre 0 y 5% y en partes onduladas e inclinadas, con pendientes entre 6 y 15% (Collahuazo 2012).

1.3 Domesticación de la guayusa

La domesticación de una planta se realiza por medio de la selección artificial de rasgos favorables que pueden generar condiciones aptas para que el cultivo crezca con éxito (Evans 1993). Aunque la domesticación de plantas puede acarrear beneficios tales como incremento de la producción y creación de sistemas agrícolas más rentables para los agricultores, existe evidencia que afirma que la domesticación de plantas puede afectar negativamente la funcionalidad y sostenibilidad de los agro-ecosistemas, cuando éstos se tornan en monocultivos y especialmente cuando utilizan grandes cantidades de agroquímicos (Macfadyen y Bohan 2010). Se puede decir que *Ilex guayusa* ha tenido dos fases de domesticación. La primera se remonta desde los años 500 a.c. hasta el año 2010 d.c. y la segunda comienza a partir de la comercialización de guayusa en 2010 (Patiño 1968, Schultes 1979).

Durante la primera etapa de domesticación de la guayusa, aparentemente ha habido una selección de su fenotipo por medio de la constante búsqueda de variedades con mejor sabor y propiedades estimulantes (Mamallacta 2013). Existen crónicas que hacen referencia al uso de la guayusa por parte de los indígenas amazónicos que datan del siglo XVII. Muchas de estas curiosas referencias fueron documentadas por misioneros y científicos europeos (Patiño 1968, Schultes 1979). Asimismo, se encontró un atado de hojas de guayusa en una tumba tiahunacoide en el altiplano boliviano, que data del año 500 d.c. (Schultes 1972) (Tiahuanaco es un sitio arqueológico Pre-Colombino del Occidente de Bolivia). Debido a que la planta no ha sido registrada en la actualidad en Bolivia, se piensa que las hojas fueron traídas por el ocupante de la tumba desde la Amazonia peruana.

Esta primera fase de domesticación por parte de los grupos de indígenas amazónicos puede haberse originado a partir del bien conocido uso de plantas para fines mágico-religiosos. En muchas culturas shamánicas de la Amazonia, los herbalistas ingieren un brebaje alucinógeno compuesto, entre otras cosas, por una liana llamada Ayahuasca (*Banisterio psiscaapi*) para “percibir visiones.” Durante estos trances, los chamanes reportan que las especies escogidas para la siembra, como la guayusa, son capaces de “hablar” para comunicar sus propiedades (Davis 1996). Así, la guayusa fue convirtiéndose en una planta muy importante dentro de la cosmovisión de varios pueblos amazónicos actuales y del pasado. Hoy, la guayusa está particularmente presente en la cultura kichwa amazónica del nororiente del Ecuador (en Perú también es frecuente en la cultura Awajún y Achuar, del norte del país). Tal es la significancia simbólica de la planta, que es común que una pareja kichwa recién casada plante un árbol de guayusa en donde construiría su casa posteriormente (Vargas 2013).

A partir de febrero de 2010, la Fundación Runa y su socio exportador, la empresa Runatarpuna Exportadora, S.A., empezaron a reproducir *Ilex guayusa* a través de viveros comunitarios. Entre 2010 y 2012, alrededor de 150.000 plantas de guayusa fueron sembradas entre aproximadamente 750 familias agricultoras en la provincia de Napo. La propagación de la planta fue enteramente vegetativa y se utilizaron estacas de aproximadamente 1 cm de diámetro y 10 cm de longitud (Humanante 2013). Por lo general, la guayusa fue plantada en hileras de 3 m x 3 m con 200 plantas asignadas a cada agricultor para un área de una hectárea en forma de parcela. Esta etapa de siembra intensificada dio inicio al segundo periodo de domesticación de guayusa.

La segunda etapa de domesticación posee un nuevo conjunto de condiciones, basadas en el contexto de la comercialización de la planta en lugar de su uso doméstico. Estas condiciones, en parte, son determinadas por decisiones sobre incentivos para usos de la tierra que escapan al control o influencia que pudiera ejercer Runa. Por ejemplo, el nuevo modelo de comercialización exige la siembra de guayusa a mayores densidades (entre 50 a 1000 plantas por ha). Esto puede afectar negativamente la diversidad de los agro-ecosistemas representados en las chacras tradicionales, provocar el estancamiento de la productividad a largo plazo, incrementar la vulnerabilidad a enfermedades y plagas y comprometer la provisión de servicios del ecosistema (Tscharntke et al. 2011). Es por ello que Runa busca promover la intensificación del cultivo en el marco de un sistema agroforestal multi-estrato de características comerciales. Dicho sistema estará basado en las conclusiones de un programa de investigación científica que cubre aspectos de agronomía, genética, ecología, fitoquímica y conocimiento ancestral de la especie.

2. EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE RUNA

La visión y misión de Runa ha sido la búsqueda de un conocimiento profundo acerca de la chacra y la guayusa. Su interés es aumentar la producción de guayusa, combinando los saberes ancestrales con el conocimiento generado mediante el método científico. La modificación de métodos tradicionales de producción agrícola a cambio de formas de cultivo modernas puede tener consecuencias amplias. La domesticación de un cultivo va más allá de la esfera ambiental, ya que se relaciona con el patrimonio cultural, estilo de vida y estructura social de los agricultores. Por esta razón, el enfoque de las investigaciones de Runa da importancia a la dinámica social, cultural y económica del cultivo, sin dejar de lado las propiedades genéticas, biológicas, farmacológicas y ecológicas de la especie. En última instancia, el programa científico emprendido por Runa busca generar información para producir un manual de buenas prácticas para el cultivo de guayusa (MBPG), el cual será distribuido entre los actores interesados en este cultivo ancestral.

2.1 Aspectos socio-económicos

Antes de la llegada de Runa, la guayusa no tenía mayor impacto económico en la región más allá de su uso doméstico. El tema de cómo podría influir la demanda y posterior valorización de la misma entre las comunidades productoras de guayusa está en constante discusión en Runa. En el 2012, se realizó una encuesta de línea de base para evaluar la situación social y económica de las familias locales. El análisis dio a Runa una clara ilustración estadística acerca del valor económico de lo que una chacra produce, su valor de mercado; las fuentes de ingreso, gastos familiares y roles domésticos que ocupan los hombres y mujeres adultos, los niños y los adolescentes. Además, la encuesta buscó opiniones acerca de la relación que Runa ha venido construyendo con las comunidades. También se observó el precio de mercado de la guayusa, así como el ingreso promedio que se genera de la venta de guayusa en relación con otros productos agrícolas.

El estudio ha sido trascendental para comprender de mejor manera la dinámica de las familias y las comunidades y asimismo sirvió para proveer de las herramientas necesarias al equipo de Runa para que puedan abordar los problemas mediáticos que enfrentan estas comunidades debido a la experiencia de un entorno económico cambiante. La distribución de la participación de personas por género indica que, aunque los hombres son principalmente los participantes en algún tipo de organización comunitaria, la mayoría de mujeres en las comunidades de Napo (~61%) también se encuentran involucradas en estas organizaciones. Las actividades productivas realizadas en las comunidades de Napo también fueron analizadas por género (Cuadro 1) y este análisis muestra el trabajo de hombres tanto como de las mujeres en las chacras. Observar la participación de ambos géneros en actividades agrícolas será importante durante esta época de desarrollo y cambio en la provincia de Napo.

Cuadro 1. Actividades productivas por género (Cada opción tiene una posibilidad de 100%, y los porcentajes anotados indican el porcentaje de los encuestados que participa en la actividad productiva). Fuente: Piñeiro et al. (2012).

Género	Actividades	1ra opción	2da opción	3ra opción	4ta opción
Hombres	Cultivos anuales	52%	39%	35%	55%
	Cacao	38%	34%		
	Madera			21%	
	Pesca				21%
Mujeres	Cultivos anuales	66%	35%	45%	78%
	Cacao	24%	48%		
	Otros			17%	11%

2.2 Diversidad genética, enemigos naturales y fitoquímica de la guayusa

Una de las problemáticas críticas que necesita de una respuesta inmediata en la investigación de la guayusa es conocer los riesgos que pueden acarrear las nuevas estrategias de domesticación impulsadas por Runa, así como el aumento de la intensificación del cultivo de la guayusa. Debido a que los agricultores, tal como se describió anteriormente, cultivan la planta de guayusa reproduciéndola por estacas, cada planta nueva es genéticamente idéntica a la planta madre. Por este motivo, puede deducirse que estas plantas de guayusa carecen de la diversidad genética generada mediante la reproducción sexual y flujo génico (esto está siendo confirmado por investigaciones en marcha en colaboración entre Runa y científicos de la Universidad San Francisco, Quito). Es posible que las plantas que encontramos en la actualidad posean poca capacidad para adaptarse y resistir el impacto de plagas, hongos o enfermedades que pueden afectarlas en el futuro. Durante el 2010 y 2011, Runa enfocó sus esfuerzos en documentar información de base sobre las posibles amenazas a la guayusa, pese a su aparente resistencia a enfermedades, parásitos y predadores. La literatura existente sobre estas amenazas es un tanto rudimentaria por lo que es necesario profundizar la investigación en este tema.

En 2013, la Fundación Runa, en conjunto con la Universidad San Francisco de Quito, empezó un estudio para examinar la diversidad genética de la especie. Las muestras de guayusa se colectaron procurando cubrir la mayor área posible de la región amazónica ecuatoriana, donde se ha registrado guayusa en el pasado. Dichas muestras se enviaron a los laboratorios de biotecnología vegetal y química analítica de la universidad, para su respectivo análisis de composición genética y fitoquímica. Durante la recolección de muestras se tomaron estacas de cada árbol muestreado para procurar un espécimen testigo a ser plantado en los viveros de Runa. Si dichos especímenes sobreviven, de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis genéticos y químicos, los plantones obtenidos serán destinados a poblar parcelas con el objetivo general de mantener y mejorar la variabilidad genética de la especie. Es decir, esta parcela experimental pretende ser un “Jardín Clonal,” donde las plantas de guayusa, de diferentes regiones y origen genético conocido, se cultivarán juntas. Una vez establecida la parcela se pretende observar posibles diferencias en los fenotipos de los especímenes y estimular y desarrollar un programa de cruzamiento para mejorar la diversidad genética de la especie (Figuras 6 y 7).



Figura 6. Recolección de muestra para la reserva genética en el territorio Achuar de Pastaza. Foto: Fundación Runa.



Figura 7. Estacas creciendo para la reserva genética. Foto: Fundación Runa.

Debido al hecho de que la guayusa produce semillas, aunque sea en raras ocasiones, se está formulando un protocolo para recabar información acerca de la fenología de la guayusa. En Perú se reporta que la floración es de marzo a noviembre (Loizeau 1994). Runa tiene interés en aprender acerca de las características de las semillas y la mejor manera en que podrían ser germinadas. Es posible, tal como sucede con las semillas de otras especies del género *Ilex*, como la yerba mate (*Ilex paraguariensis*), que las semillas de guayusa tengan un complejo y largo periodo de germinación (Mroginski et al. 2011). Por tal motivo quizás sea necesario aplicar tratamientos para estimularla. Runa está formulando un programa de estudio para ensayar métodos de preservación y germinación, basados en técnicas empleadas para semillas de yerba mate y otras plantas similares.

2.3 Agronomía, ecología y conocimiento ancestral sobre la guayusa

Aunque las propiedades estimulantes, medicinales, métodos de propagación y observaciones sobre la biología e historia natural de guayusa han sido acumuladas y reconocidas, en un principio por las diferentes nacionalidades indígenas del Ecuador amazónico, hay mucho trabajo por hacer para guiar la transición de esta especie hacia un cultivo de escala comercial y exportación. Esto no quiere decir que la capacidad de generar conocimiento desde los agricultores sea descartada. Runa tiene muy claro que la adopción de innovación científica y la asistencia técnica deben ser formuladas con correspondencia cultural y respeto a las posibilidades de los agricultores y su entorno.

Así, se ha comenzado a generar información de base sobre la agronomía y ecología de la guayusa mediante dos estrategias: investigación formal e investigación participativa. Desde finales del 2012, el componente de investigación formal ha llevado a la creación de parcelas experimentales en las que se generará información acerca del crecimiento de guayusa, necesidades nutricionales, densidad óptima de sembrado y respuesta a podas de formación. De la misma manera, durante el 2013 se está trabajando en formular ensayos que permitan mejorar la producción vegetativa tomando como ejemplo especies similares como la yerba mate y el té (*Camellia sinensis*), y las asociaciones agroforestales con especies multi-propósito.

En lo referente a la ecología de la guayusa, Runa ha empezado un estudio que busca relacionar las características bio-físicas del suelo y de la chacra tradicional con la producción y vigor de las plantas maduras de guayusa. Tomando en cuenta que las características bio-físicas del suelo son fundamentales para sostener las prácticas agrícolas, este estudio diseñado a finales del 2012, y proyectado para su ejecución en 2013, analizará el efecto de la química y tipo de suelo, composición de especies de plantas domesticadas y diversos factores ambientales sobre la producción de guayusa (Figura 8).



La Fundación Runa ha diseñado y comenzó a implementar en 2013 un proyecto de gestión ancestral para poder documentar, analizar e integrar técnicas eficaces de manejo cultural en los futuros métodos de producción de guayusa. El programa de investigación participativa aborda temas de interés para el pequeño agricultor. El enfoque es no-formal y se da la posibilidad al agricultor de discutir, diseñar y generar investigación desde sus posibilidades. El rol del investigador y Runa en este componente es el de facilitar el aprendizaje, el cual se da de manera voluntaria y espontánea, mediante sesiones de trabajo teórico y práctico.

Figura 8. Recolección de muestras de suelos. Foto: Fundación Runa.

2.4 Sistemas agroforestales que incorporan guayusa

En el diseño de los sistemas agroforestales (SAF), una pregunta fundamental es, ¿cuántas especies e individuos deben utilizarse para lograr la sustentabilidad del cultivo? No hay respuesta simple, pero para que exista un SAF, por lo menos tiene que haber dos especies que logren una interacción inter-específica favorable. Muchos SAF pueden obtener objetivos concretos con solamente 2 a 3 especies, por ejemplo, sistemas silvo-pastoriles de árboles, pastos, y animales bien manejados.

Sin embargo, para lograr un SAF bien diseñado, se espera que la asociación de especies cumpla con diversas funciones: a) productivas; diversificación y aumento de la producción, sostenibilidad a lo largo del tiempo, b) ambientales; regulación del microclima, conservación de suelos, reciclaje de nutrientes, diversidad, toma de carbono, optimización en el uso de la luz, y c) sociales-culturales; preferencias, aumento de empleo, seguridad alimentaria, equidad, entre otras. Para ello puede ser necesario diseñar SAF más complejos, que incluyan 3, 5, o 10 especies bien seleccionadas para obtener las funciones indicadas. Cuantas más especies se incluyen, más se parece el SAF al bosque circundante.

El sistema tradicional de chacra kichwa es un prototipo de SAF, con un diseño y manejo en un sistema multi-estrato, imitando las funciones y estructuras del bosque natural. El diseño y manejo de estos SAF está basado en costumbres ancestrales, donde cada especie se encuentra asociada a la guayusa cumpliendo funciones ecológicas, sociales, culturales y económicas, de acuerdo con las referencias y experiencias del agricultor.

2.5 Especies adecuadas para asociar con guayusa

La guayusa es una especie que tolera la sombra, lo que la hace ideal para asociar en un sistema agroforestal, pero es preciso entender qué especies pueden proveer el régimen de sombra óptimo para la guayusa. Adicionalmente, para poder diseñar y manejar SAF de guayusa como parte del proceso de domesticación, es preciso comenzar por un monitoreo de chacras de diferentes áreas que representen la variedad de ecosistemas de la región.

Para domesticar a la guayusa llevándola a formar parte integrante de SAF más simples, y a mayor escala de producción, deben respetarse las prioridades de estas asociaciones de especies. Es decir, observar y anotar cuidadosamente, el por qué de estas asociaciones, de manera que la pregunta principal que la Fundación está planteando para diseñar un SAF con guayusa es: ¿cuál es el número de especies a incluir? La pregunta tiene su respuesta en los objetivos que se pretende lograr con el SAF. En un sistema agroforestal se espera tres elementos como mínimo (ver Cuadro 2 para más detalles):

1. Ingresos a corto plazo (“gastos corrientes”), dados por una o más especies que se puedan cosechar a corto plazo y preferiblemente a lo largo del año, como por ejemplo café, cacao, y alimentos para el uso diario, verduras, frutas, así como productos de algunos animales (gallinas, cerdos, vacas, etc.) que el agricultor cría o mantiene como parte de un huerto familiar o casero.
2. Ingresos a largo plazo (“ahorros”), sea para el propio agricultor o para su descendencia, o para aumentar el valor de su propiedad a largo plazo, como herencia, generalmente dados por las especies maderables de buen valor, tales como caoba, cedro, *Tabebuia*, *Cordia*, *Cedrelinga*, y otras.

3. Puede haber también ingresos a mediano plazo; por ejemplo con árboles frutales o con maderas de rápido crecimiento.
4. Sostenibilidad, por las funciones ambientales que cumplen las especies de árboles asociadas que reciclan nutrientes, protegen al suelo, fijan carbono, proveen hábitat y alimento a la fauna silvestre, e incorporan nutrientes tales como el nitrógeno, proporcionada por ejemplo por especies fijadoras de nitrógeno como la *Inga*, *Erythrina*, entre otras.

Las funciones detalladas anteriormente (productivas, ambientales y socio-económicas) surgen como consecuencia de la obtención de los objetivos listados.

Cuadro 2. Lista de especies que pueden crecer en asociación con la guayusa.

Familia	Especie	Nombre Común	Tipo
Annonaceae	<i>Rollinia mucosa</i>	Chirimoya/Anona	Frutal
Bignoniaceae	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Guayacán	Maderable
Bombacaceae	<i>Ochroma pyramidale</i>	Balsa	Maderable
Burseraceae	<i>Dacryodes</i> spp.	Copal	Maderable
Cecropiaceae	<i>Pourouma cecropifolia</i> / <i>Pourouma minor</i>	Uva de monte	Frutal
Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i>	Yuca	Comestible
Euphorbiaceae	<i>Croton lechleri</i>	Sangre de Drago	Medicinal
Fabaceae	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Fréjol	Ciclo corto
Fabaceae	<i>Arachis hypogea</i>	Maní	Ciclo corto
Fabaceae	<i>Inga</i> spp.	Guaba	Frutal
Fabaceae	<i>Calliandra angustifolia</i>	Yutzu	Maderable
Fabaceae	<i>Mycroxyllum balsamum</i>	Bálsamo	Medicinal
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate	Frutal
Malvaceae	<i>Sterculia apetala</i>	Cacao de monte/Cambia	Frutal
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro Blanco	Maderable
Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i> , <i>G. purusiana</i> , <i>G.gomma</i> , <i>G. guidonia</i>	Manzano	Maderable
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	Batea Caspi	Maderable
Mimosaceae	<i>Cedrelinga cataeniformes</i>	Seique/Chuncho	Maderable
Mimosaceae	<i>Parkia balslevii</i>	Guarango	Maderable
Moraceae	<i>Artocarpus artilis</i>	Frutipan	Frutal
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i>	Plátano/banano	Frutal
Musaceae	<i>Musa acuminata</i>	Orito	Frutal
Myristicaceae	<i>Virola</i> spp.	Sangre de gallina/Doncel/Tabano	Maderable
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Frutal
Poaceae	<i>Zea mays</i>	Maíz	Ciclo corto
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i>	Arenillo	Maderable
Sterculaceae	<i>Theobroma cacao</i>	Cacao	Frutal

En los SAF con guayusa, la primera función, es decir el *gasto corriente*, la daría principalmente la guayusa y otras especies de valor comercial, como café o cacao. Dentro de este objetivo también se encuentran para cosecha a corto plazo cultivos de alimentos como yuca, verduras, hortalizas y granos, frutas y otros que contribuyen a la seguridad alimentaria. El ahorro sería la madera valiosa de cedro, caoba y otras especies. La *sostenibilidad* se obtendría por el nitrógeno fijado por los árboles leguminosos, el reciclaje de hojarasca de otras especies leñosas asociadas, la protección del suelo, hábitat para fauna silvestre, captura de carbono, etc. En este aspecto es importante señalar que el reciclaje y el aporte de nutrientes de los árboles asociados asegura que el cultivo se mantenga orgánico, sin necesitar insumos químicos de fertilizantes. También la diversidad de especies contribuye a prevenir el ataque de plagas y malezas, por lo cual se reduciría la dependencia de otros insumos químicos como insecticidas, fungicidas o herbicidas.

2.6 Arreglo espacial y por estratos verticales de los SAF con guayusa

El espaciamiento de los SAF de guayusa puede ser de forma convencional, de líneas de guayusa intercaladas con los otros cultivos, con distanciamiento adecuado entre los componentes para lograr las ventajas de la asociación sin producir competencia por los recursos de suelo, agua y luz. Asimismo, las diferentes especies del sistema deben asociarse para lograr estratos verticales de diferentes alturas, lo cual se realiza en función de la luz que requieren y/o dejan pasar a niveles inferiores.

Puede haber especies que no se asocien de manera favorable con la guayusa, sea porque producen demasiada sombra, o porque su hojarasca contiene algún elemento químico que inhibe el crecimiento de otras especies (alelopatía, por ejemplo el nogal, *Juglans* spp., o eucaliptos), o porque sus raíces interfieren con las de la guayusa (por ejemplo, el cacao). En esos casos se usan diseños espaciales para incluir estas especies, de manera que no estén muy cerca de la guayusa, sea formando bordes, linderos, o bien estratificando la chacra plantando diferentes especies en diversas áreas, de modo que no interfieran unas con otras.

En el diseño de los SAF a nivel del paisaje de la chacra y sus alrededores, puede planificarse, seleccionar y manejar áreas utilizadas en actividades conexas que pueden darse en forma complementaria en un SAF bien constituido, y que pueden brindar beneficios adicionales al agricultor. Estas actividades complementarias pueden ser el ecoturismo o turismo de naturaleza (en especial el avistamiento de aves), la recolección de hongos comestibles y otras especies medicinales o de otros usos, la captura sostenible de mariposas y otros insectos, etc.

2.7 Manual de buenas prácticas del cultivo de guayusa

Una de las prioridades principales de la Fundación Runa es la de asegurar que los recursos y la información sean compartidos en colaboración con los agricultores, para que puedan mejorar la calidad y cantidad de su producto y a la vez aumentar sus ingresos y la calidad del té de guayusa. Con los resultados pertinentes y las conclusiones del estudio del suelo, el proyecto de manejo ancestral y los otros proyectos de investigación científica de Runa redactó un manual de buenas prácticas del cultivo de guayusa (MBPG). Este documento expone las conclusiones disponibles del programa de investigación en una guía accesible y sencilla, para el proceso de la siembra de guayusa. Tratándose de un SAF que está sujeto a la extracción de una parte de sus componentes, el Programa de investigación de RUNA incluye aspectos referentes al mantenimiento y sostenibilidad de la fertilidad del suelo. Esta guía ofrece los puntos de vista en varias opciones de gestión, será traducida al kichwa y posteriormente distribuida a todas las comunidades con las que colaboramos.

3. BENEFICIOS SOCIO-ECONÓMICOS Y RIESGOS DE LA COMERCIALIZACIÓN ACTUAL DE LA GUAYUSA

Desde el inicio de la comercialización de guayusa en el año 2010, el beneficio económico ha sido un factor importante para despertar y mantener el interés de los agricultores en participar en emprendimientos con Runa. Antes de incorporarse a los esquemas de Runa, el ingreso promedio de los agricultores era de aproximadamente USD \$50 mensuales. En contraste, algunos agricultores han ganado hasta USD \$300 en un día de cosecha vendiendo hojas de guayusa de árboles ya maduros. Se estima que, gracias a las ventas de guayusa, el agricultor promedio ha mejorado sus ingresos familiares en un 8% desde el año 2010 (Piñeiro 2012). Runa calcula que los agricultores podrían cosechar de 1-2 libras por planta de guayusa en el primer año. Uno de los objetivos de Runa es mejorar el ingreso promedio de los agricultores de guayusa en un 15% para el 2015.

Mediante la adición de un nuevo cultivo comercial, el modelo de Runa colabora en favor de la diversificación de fuentes de ingreso para los agricultores. La diversificación implica que los agricultores no dependan solamente del café o del cacao. Runa impulsa este modelo de agricultura tradicional de tipo chacra, en el cual se siembra una variedad de productos de la zona y de esta manera se espera garantizar la seguridad alimentaria de las familias locales (Figura 9). El modelo promovido por Runa pretende evitar que los agricultores se vuelvan dependientes de la producción de guayusa. Además, al fomentar la variedad de productos también se previene la degradación ambiental inherente a los sistemas de monocultivo.

Como ya existe entre los agricultores donde se está trabajando la práctica de cultivar especies de valor comercial, el modelo de Runa se basa en demostrar que la incorporación de guayusa –en reemplazo de cierta cantidad de plantas comerciales ya utilizadas– sea atractivo al agricultor. Cabe mencionar la existencia, antes de la intervención de Runa, de un comercio incipiente de hojas de guayusa, para abastecer la demanda local y regional que tradicionalmente existía (los llamados “zartas” de hojas oreadas de guayusa que aún hoy se expenden en el mercado). Esto ha brindado un antecedente de base para el comercio de guayusa, el cual Runa pretende incrementar en escala con su proyecto de domesticación.



Figura 9. Agricultores con la guayusa que sembraron en la chacra, al lado de su casa. Foto: Fundación Runa.

3.1 Políticas públicas que influyen sobre la comercialización de la guayusa

En Ecuador, la recolección o cosecha de plantas silvestres es regulada por el Ministerio de Medio Ambiente (MAE) y no por el Ministerio de Agricultura (MAGAP). En 2012, el Ministerio de Medio Ambiente organizó un foro para la categorización de plantas silvestres. Este foro serviría como antecedente para la futura regulación de la cosecha, recolección y comercialización de plantas silvestres. El Ministerio define una planta silvestre como una planta que crece en un estado natural y/o es nativa. Existen claras excepciones a esta regla, ya que muchas variedades de papa, banana, plátano y cacao son nativas de Ecuador pero se las considera como cultivo y por ende son reguladas por el Ministerio de Agricultura.

La planta de guayusa representa un caso interesante para la categorización de plantas silvestres, ya que históricamente ha sido cultivada por comunidades indígenas desde hace 1500 años o más (ver sección 1.2 sobre domesticación de la guayusa). Está claro que la comercialización de la planta es nueva, pero la historia de su cultivo y cosecha se remonta hasta mucho antes del descubrimiento del Nuevo Mundo. En Ecuador no se puede encontrar guayusa en lo que se considera su “estado natural” no obstante sí es “nativa” de la Amazonia ecuatoriana (como ya se dijo, en Perú sí se le ha encontrado en estado silvestre).

Organizaciones como Fair Wild, Fair Trade USA, Trans Fair y la Forest Stewardship Council han creado varios estándares gratuitos, en cuanto al manejo y recolección sostenible de plantas silvestres. Fair Trade USA (Comercio Justo EE.UU.) define a la cosecha de plantas silvestres como una “recolección de plantas o material vegetal en áreas no cultivadas” (Fair Trade USA Standards Glossary). La preocupación ecológica principal al momento de cosechar especies silvestres es la posibilidad de disminuir la capacidad reproductiva de la planta, y por lo tanto, poner en peligro a la especie tanto en el ámbito local como global. Los cultivos que son sembrados, cuidados y cosechados no plantean el riesgo de poner en peligro la capacidad reproductiva de la planta ya que su reproducción está asegurada por los agricultores.

La guayusa abre varios interrogantes importantes: ¿Cuál es la línea divisoria entre una especie de cultivo y una especie silvestre? ¿Cuándo las plantas pasan de ser especies silvestres a ser especies de cultivo? ¿Cómo pueden los gobiernos crear políticas públicas claras que incentiven la producción de plantas nativas y al mismo tiempo protejan la integridad ecológica de los sistemas forestales?

Hasta mayo del 2013, el Ministerio de Ambiente todavía no había emitido una nueva normativa para la cosecha, recolección y comercialización de plantas nativas. Antes del foro para la categorización de plantas silvestres del 2012 todas las especies silvestres a ser cultivadas requerían un plan de manejo forestal y permisos especiales para su transporte y comercialización. Muy pocos actores presentaron estos planes de manejo y existía muy poco control para la aplicación de dicha normativa. A medida que el Ministerio de Ambiente empiece a hacer cumplir la nueva normativa, es importante pensar en las posibles consecuencias de la implementación de la misma. Es decir, por una parte el exceso de regulación podría reducir los beneficios para los pequeños agricultores y de esta manera incentivar operaciones de cultivo más grandes que tengan la capacidad de conseguir los requerimientos regulatorios. Por otra parte, la falta de regulación podría conducir a la sobrexplotación de las especies poniéndolas en mayor peligro de extinción.

4. EL MODELO DE LA CADENA DE VALOR DE RUNA

Runa trata temas complejos con respecto al desarrollo rural ya que por un lado se enfoca en la reducción de la pobreza rural, y por otro en la conservación de la biodiversidad en países tropicales. Parte del modelo innovador de la cadena de valor de Runa es trabajar conjuntamente con agricultores para abrir nuevos mercados para plantas nativas, creando así incentivos de mercado que promuevan la conservación de la biodiversidad y la generación de nuevas fuentes de ingresos para los hogares de escasos recursos. Durante los últimos cuatro años, Runa ha venido aplicando su modelo en la Amazonia ecuatoriana, por medio de la creación de un nuevo mercado internacional para la guayusa. En sólo cuatro años Runa ha logrado vender guayusa en saquitos de té y en envases listos para beber (ready-to-drink, RTD) en más de 5.000 tiendas en Estados Unidos, Canadá y Ecuador (Figura 10). Asimismo Runa trabaja con más de 2.200 familias agricultoras que manejan sosteniblemente más de 15.000 hectáreas de tierra en la provincia de Tena, Ecuador. El trabajo de Runa consiste en brindar asistencia técnica, manejar y promover la certificación de comercio justo con sus más de 2.200 agricultores participantes.



Figura 10. Algunos de los productos comerciales que Runa hace a partir de la guayusa.
Foto: Fundación Runa.

4.1 Certificación de comercio justo

La Empresa Runa es una organización de comercio justo certificada por Fair Trade USA (Comercio Justo EE.UU.) bajo un nuevo estándar desarrollado para “Pequeños productores organizados independientes.” Las cadenas de valor de Comercio Justo por lo general tienen tres cosas en común: 1) Los compradores acuerdan tener un precio fijo mínimo del cual no se puede bajar; 2) Se estimula a los agricultores y/o trabajadores para que se organicen en organizaciones formales; 3) Los agricultores y/o trabajadores reciben un fondo social adicional, por parte de la organización compradora, para financiar proyectos de desarrollo comunitario.

El papel de la asociación o cooperativa de agricultores es el de maximizar los beneficios para sus miembros, mediante la reducción de costos de transacción con la creación de un espacio democrático donde sus integrantes puedan manifestar sus demandas y necesidades. Es decir, la asociación de agricultores sirve como contrapeso ante las exigencias de la empresa que compra su producto. Por tal razón, es necesario que la asociación establezca precios y salarios justos, y que defina las normas sobre la relación que existe entre los agricultores, los trabajadores y la empresa.

Los agricultores de guayusa nunca antes se habían organizado en cooperativas para la producción de guayusa, puesto que en el pasado no existía un mercado para la misma. Una de las varias complicaciones que Runa encontró es que los agricultores no tenían ningún incentivo para organizarse mientras el mercado estaba en sus etapas iniciales. El desafío para Runa fue encontrar la manera de crear una cadena de valor que cumpla con los estándares de comercio justo empezando desde cero. Runa trabajó con Comercio Justo EE.UU. para tratar de encontrar una solución viable para este problema (Rice 2012).

Comercio Justo EE.UU. desarrolló un estándar que permite una mayor flexibilidad para modelos innovadores de cadenas de valor. Este tipo de flexibilidad permite que los agricultores, al ser parte de este modelo de comercio justo, desarrollen sus cooperativas por un período de seis años. Runa asigna el fondo premio social adicional del 15%, el cual es administrado por un grupo de representantes de los agricultores. Este fondo social es destinado para la implementación de proyectos de desarrollo comunitario en las comunidades productoras de guayusa.

4.2 La cadena de valor de la guayusa

Runa compra las hojas de guayusa frescas sin procesar a un precio base mínimo ya establecido directamente, de acuerdo con los agricultores. El camión de Runa viaja todos los días hacia las diferentes comunidades para recoger la guayusa cosechada y traerla a la fábrica de procesamiento, ubicada a las afueras del pueblo de Archidona, en la Amazonia ecuatoriana.

En la fábrica se procesa la guayusa utilizando un método similar al que se usa para procesar el té negro. Las hojas de guayusa son marchitadas para lograr una oxidación uniforme, luego se secan en hornos y para finalizar se trituran las hojas en diferentes tamaños dependiendo de las exigencias de los clientes. La fábrica procesadora de guayusa es propiedad de Runatarpuna, S.A., la cual es la filial exportadora de la Empresa Runa y se encarga de las operaciones de la misma. La mayor parte de la guayusa ya procesada es enviada a los Estados Unidos para su empaquetado y distribución.

CONCLUSIONES

Runa es una empresa social joven que ha trabajado arduamente para poder consolidarse como una marca que elabora y comercializa un producto de alta calidad. Es una empresa innovadora y éticamente responsable que conjuntamente con su Fundación trabaja para promover la agricultura sostenible y el desarrollo de sistemas agroforestales, en beneficio de las comunidades indígenas de la Amazonia ecuatoriana. Usando los principios de comercio justo y producción orgánica, el equipo tiene la visión de consolidar a la guayusa como un producto emblemático de Ecuador y facilitar el desarrollo agro-productivo de la Amazonia ecuatoriana, sin que esto signifique la destrucción o aniquilación de sus recursos naturales. Mediante la implementación de un programa de investigación multidisciplinaria, Runa está generando los conocimientos necesarios para elaborar un manual de buenas prácticas de producción de guayusa. Este manual servirá para difundir estas prácticas y facilitar su adopción por parte de más agricultores a pequeña escala.

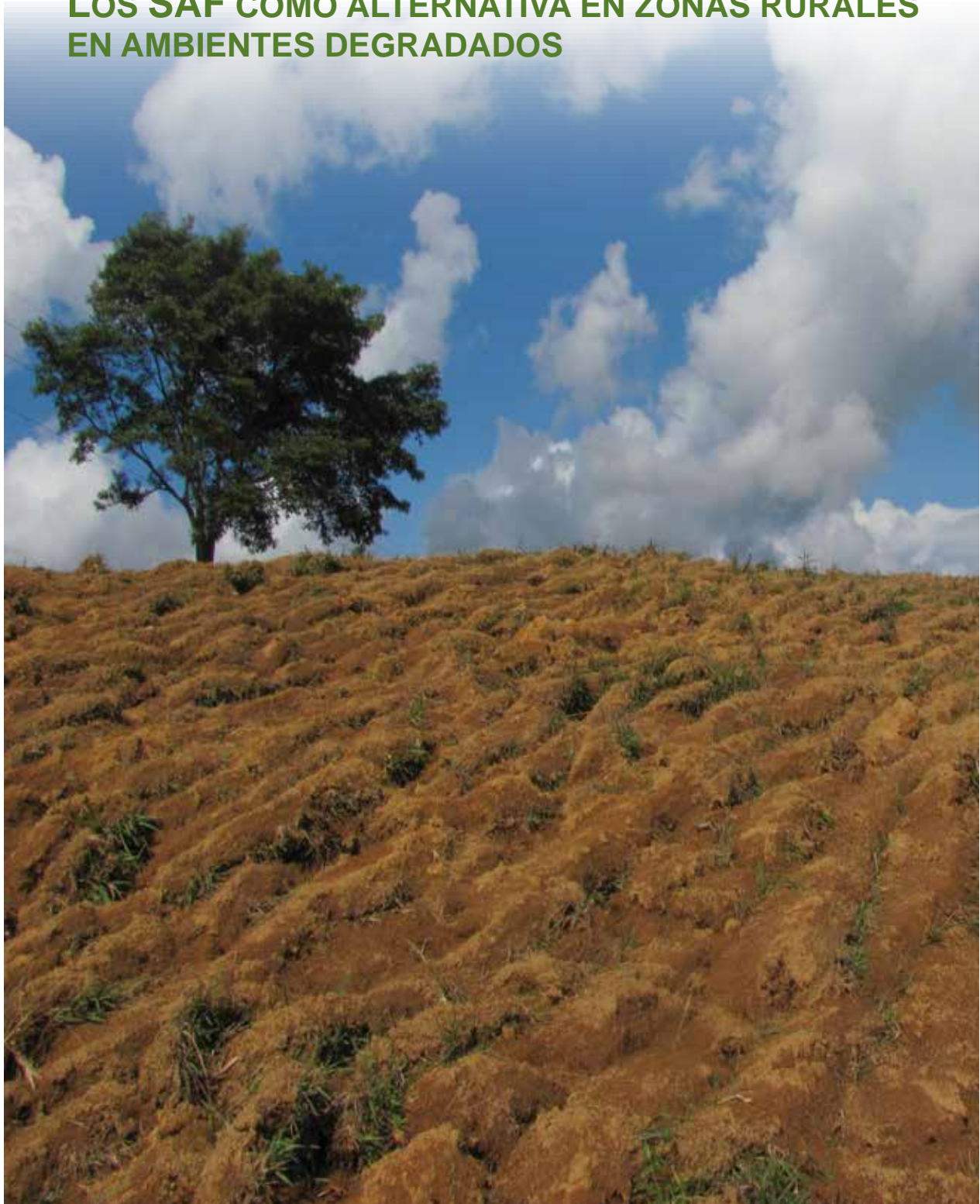
BIBLIOGRAFÍA

- Carneiro, RL. 1957. Subsistence and Social Structure: An Ecological Study of the Kuikuru Indians. Tesis PhD. Universidad de Michigan, Ann Arbor.
- Collahuazo, P. 2012. Plan de manejo de *Ilex guayusa* en la comunidad de Wapu. Macas, Ecuador. Documento interno.
- Davis, W. 1996. One River: Explorations and Discoveries in the Amazon Rain Forest. New York: Simon and Schuster.
- Denevan, WM. 1996. A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. *Association of American Geographers* 86(4):654-81.
- Evans, LT. 1993. Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge, Massachusetts, USA, Cambridge University Press.
- Fair Trade USA Standards Glossary (en línea). Disponible En: http://www.fairtradeusa.org/sites/all/files/wysiwyg/filemanager/FTUSA_Glossary_032713.pdf
- Forero, J. 2010. Scientists find evidence discrediting theory Amazon was virtually unlivable (en línea). *Washington Post*. Disponible En: <http://www.washingtonpost.com/wpdyn/content/article/2010/09/03/AR2010090302302.html?sid=ST2010090400158>
- García Barriga, H. 1992. Flora Medicinal de Colombia. Bogotá, Colombia, Editores Tercer Mundo. Tomo 2:1-537.
- Heaton, HC. (Ed.). 1934. The Discovery of the Amazon According to the Account of Friar Gaspar de Carvajal and other Documents. New York, USA, American Geographical Society.
- Heckenberger, MJ; Russell, JC; Fausto, C; Toney, JR; Schmidt, MJ; Pereira, E; Franchetto, B; Kuikuro, A. 2008. Pre-Columbian urbanism, anthropogenic landscapes, and the future of the Amazon. *Science* 321:1214-1217.
- Humanante, A. Entrevista personal. 2 ene. 2013.

- Innerhofer, S; Bernhardt, KG. 2011. Ethnobotanic garden design in the Ecuadorian Amazon. *Biodiversity and Conservation* 20(2):429-439.
- Jørgensen, PM; León-Yáñez, S. (Eds.). 1999. *Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador*. Missouri Botanical Garden.
- Loizeau, PA. 1994. Les Aquifoliaceae péruviennes (éléments pour une révision des Aquifoliaceae néotropicales). *Boissiera* 48:1-306.
- Loizeau, PA; Barrera, G. 2007. Aquifoliaceae néotropicales: Descriptions, Illustrations, Identification, et Recherche d'Information (en línea). Disponible En: <http://www.ville-ge.ch/cjb/>
- Loizeau, PA; Savolainen, V; Andrews, S; Spichiger, R. 2009. Aquifoliaceae. *Monographia Aquifoliacearum* (en línea). Disponible En: <http://www.ville-ge.ch/cjb/bd/aqf/famille.php>
- Macfadyen, S; Bohan, DA. 2010. Crop domestication and the disruption of species interactions. *Basic and Applied Ecology* 11:116-125.
- Mamallacta, S. Entrevista personal. 19 feb. 2013.
- Mann, CC. 2005. 1491: New revelations of the Americas before Columbus. New York, NY, USA, Knopf.
- McMichael, CH; Palace, MW; Golightly, M. 2014. Bamboo-dominated forests and pre-Columbian earthwork formations in south-western Amazonia. *Journal of Biogeography* 41 (en línea). Disponible En: <http://wileyonlinelibrary.com/journal/jbi>
- Mroginski, L; Dolce, N; Sansberro, P; Luna, C; Gonzalez, A; Rey, H. 2011. Cryopreservation of *Ilex* immature zygotic embryos. Pp. 215-225 *In*: Thorpe, TA; Yeung, EC. (Eds.). *Plant Embryo Culture: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology*. Vol. 710. Totowa, NJ, USA, Humana Press.
- Patiño, VM. 1968. Guayusa, a neglected stimulant from the eastern Andean foothills. *Economic Botany* 22(4):310-316.
- Perreault, T. 2005. Why Chacras (Swidden gardens) persist: Agrobiodiversity, Food Security, and Cultural Identity in the Ecuadorian Amazon. *Human Organization* 64(4):327-339.
- Piñeiro, A. Entrevista personal. 15 dec. 2012.
- Piñeiro, A; Mejia, E; Muzo, A. 2012. *Análisis de la Línea Base*. Tena, Ecuador, Fundación Runa.
- Rice, P. 2012. 3 Signs that it's Time to Scale Your Social Venture (en línea). *Fast Company*. Mansuetto Ventures. Disponible En: <http://www.fastcoexist.com/1681063/3-signs-that-its-time-to-scale-your-social-venture>
- Roosevelt, AC. 1991. *Moundbuilders of the Amazon: geographical archaeology on Marajo Island, Brazil*. San Diego, USA, Academic Press.
- Shemluck, M. 1979. The Flowers of *Ilex guayusa*. *Botanical Museum Leaflets* 27(5-6): 155-160.
- Schultes, RE. 1972. *Ilex guayusa* from 500 AD to the Present. *Etnologiska Studier* 32:115-138.
- Schultes, RE. 1979. Discovery of an ancient guayusa plantation in Colombia. *Botanical Museum Leaflets* 27(5-6):143-153.
- Tscharntke, T; Clough, Y; Bhagwat, SA; Buchori, D; Faust, H; Hertel, D; Hölscher, D. 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - a review. *Journal of Applied Ecology* 48(3):619-629.
- Vargas, J. Entrevista personal. 04 abr. 2013.

TERCERA PARTE:

LOS SAF COMO ALTERNATIVA EN ZONAS RURALES EN AMBIENTES DEGRADADOS



Capítulo 9

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS PROYECTOS AGROFORESTALES PARA LOGRAR BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN ZONAS RURALES DE HAITÍ

Sarah E. Marlay¹

¹ Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios Ambientales, 195 Prospect St., New Haven, CT 06511, EE.UU., Correo electrónico: sarah.marlay@yale.edu

RESUMEN

En el contexto de la gran deforestación y pobreza en Haití, muchos proyectos de desarrollo han propuesto a los sistemas agroforestales como una estrategia potencial para proveer beneficios, tanto ambientales como socio-económicos, a las zonas rurales. Este capítulo examina dos estudios de caso de proyectos agroforestales implementados en Haití: el Proyecto de Extensión Agroforestal (AOP) y el Proyecto de Reintroducción de Madera de Haití (HTRIP). A partir de éstos se pretende determinar el potencial de los sistemas agroforestales para proporcionar estos beneficios duales (ambientales y socio-económicos). La evaluación de ambos proyectos demostró que había una gran demanda para los árboles de proyecto entre los agricultores haitianos. Los árboles de proyecto proveyeron una serie de beneficios, tanto de subsistencia como comerciales, principalmente en la forma de madera, carbón, leña y fruta. Para muchos agricultores, los árboles proporcionaron una de sus principales fuentes de ingresos anuales, pues consideraron a los árboles como cajas de ahorro a largo plazo que podrían cosechar cuando fuera necesario. Además, los árboles proveyeron diversos beneficios ambientales a muchos de los sitios de proyecto, tales como la protección y el aumento de la fertilidad de los suelos, el aumento de la retención de agua de los suelos, y hábitat para la fauna. Se llega a la conclusión de que los sistemas agroforestales tienen un gran potencial para generar beneficios ambientales y socio-económicos en las zonas rurales de Haití. La autora también ofrece recomendaciones para guiar a los proyectos agroforestales a fin de lograr estos beneficios diversos.



INTRODUCCIÓN

Frente a la extensa deforestación en Haití, diversos proyectos de reforestación han sido implementados desde la década de 1940, tanto por el gobierno haitiano como por las agencias internacionales de desarrollo, en un intento por solucionar “el problema de los árboles de Haití” (Murray 1986). En 1981, en parte como respuesta al fracaso ampliamente reconocido de los primeros proyectos de reforestación en Haití que se llevaron a cabo antes de los años ochenta, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) cambió su enfoque hacia un modelo agroforestal, dando lugar a la creación del Proyecto de Extensión Agroforestal (AOP). El AOP logró éxitos sin precedentes mediante la distribución de 48 millones de árboles a aproximadamente 190.000 hogares durante la primera fase del proyecto, de 1981 a 1991 (Murray y Bannister 2004). Estos resultados sugieren que existe un gran potencial para la adopción de los sistemas agroforestales por los agricultores en Haití, y a la vez, el logro de los beneficios ambientales y socio-económicos que éstos pueden proveer.

Muchos otros proyectos agroforestales han sido implementados en Haití, además del AOP, aunque a escalas más pequeñas. El Proyecto de Reintroducción de Madera de Haití (HTRIP) es un ejemplo. Financiado por donantes privados, y trabajando en colaboración con el Hôpital Albert Schweitzer, en el Valle del Artibonite, en la parte central del país, HTRIP es un programa de plantación de árboles dirigido a las comunidades rurales pobres, en las laderas de Deschapelles (Figura 1). Desde el comienzo del proyecto, en 2006, hasta julio de 2012, los viveros de HTRIP produjeron un total de 892.547 árboles, los cuales han sido plantados en una superficie estimada de 263 hectáreas (HTRIP 2012). En el mismo período, 3.837 miembros de la comunidad se graduaron del programa educativo de HTRIP, y hoy en día HTRIP continúa expandiendo su alcance para involucrar a más comunidades (HTRIP 2012). Aunque hay diferencias en la escala y el diseño de ambos proyectos, entre otros factores, los resultados del AOP y HTRIP demuestran un interés entre muchos agricultores haitianos de incorporar árboles en sus fincas en varios sistemas agroforestales.

Este capítulo examina ambos proyectos, el AOP y el HTRIP, para evaluar el potencial de los sistemas agroforestales para producir beneficios ambientales y socioeconómicos en situaciones de deforestación extrema, como la de Haití. Además, tiene como objetivos identificar los principales desafíos para la implementación de proyectos agroforestales en Haití y dar recomendaciones para guiar los proyectos agroforestales actuales y futuros hacia el logro del mayor impacto positivo posible. Antes de describir el AOP y el HTRIP en detalle, corresponde establecer el contexto para la discusión. Se presenta una relación de los ambientes naturales y socio-económicos de Haití, seguido de una descripción del estado de su deforestación, el contexto histórico de los proyectos de reforestación y las prácticas agroforestales.

1. ANTECEDENTES

1.1 Geografía, topografía y clima

Haití se encuentra en el sector tercio oeste de la isla de Hispaniola (Figura 1). Tiene una superficie total aproximada de 27.560 km², con pocas llanuras fértiles y el 63% de todas las tierras con una pendiente superior al 20% (CIA 2013, Murray y Bannister 2004, Pellek, 1992). Un estudio hecho en 1985 sobre las condiciones ambientales de Haití, financiado por la USAID, determinó que el 80% de la superficie de Haití tiene un sustrato calizo, y el restante 20% de las tierras tienen sustratos basálticos o aluviales (Ehrlich et al. 1985, citado en Murray y Bannister 2004). La mayor parte de la capa superficial del suelo en Haití es delgada y altamente erosiva. Extensas regiones de las tierras altas rara vez tienen una profundidad de suelo mayor de 25 cm, y en muchos lugares, solamente poseen una profundidad máxima de suelo de 10 a 15 cm (Pellek 1992). Los suelos pobres y poco profundos, combinados con las pendientes y la deforestación extensa, han resultado en laderas erosionadas y en baja fertilidad. Impredecibles períodos de sequía o de lluvias extremas, como durante los huracanes, aumentan aún más la erosión del suelo y la destrucción de los cultivos. Las temporadas de lluvia ocurren desde abril hasta julio, y desde septiembre hasta noviembre en casi todo el país (Pellek 1992).



Figura 1. Mapa topográfico de Haití. Deschappelles, el distrito en que trabaja el HTRIP, está indicado con el punto rojo. Fuente: CIA (1999).

1.2 Condiciones económicas y sociales

Conocido frecuentemente como el país más pobre del hemisferio occidental (CIA 2013), la economía de Haití ha sufrido debido a su historia política, con una larga secuencia de dictadores oportunistas, y ha sido moldeada por las intervenciones de la comunidad internacional, en particular por los Estados Unidos. Aproximadamente dos tercios de la población ha dependido de los cultivos comerciales como estrategia principal de subsistencia (Tarter 2010). Hoy en día, la producción agrícola sigue siendo fundamental para la economía de Haití, con aproximadamente el 58% de su mano de obra dedicada a la agricultura (FAO 2011). Sin embargo, la producción agrícola nacional ha declinado, con una caída de un 20% en la producción de alimentos per cápita desde 1991 hasta 2001 (McClin-tock 2003). Además de la disminución de la fertilidad del suelo, se puede atribuir la disminución de la productividad agrícola, en parte, a la aceleración de la migración rural hacia los centros urbanos. La migración a Port-au-Prince se ha visto estimulada por factores como el creciente número de fábricas en Port-au-Prince y el desplome del mercado del arroz, causado por la reducción de los aranceles de importación, que permitió la inundación del mercado haitiano con el arroz subsidiado de los Estados Unidos (Tarter 2010, Katz 2013). Aunque un gran número de habitantes de la capital huyeron al campo después del terremoto devastador de 2010, la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas (ONU) estima que aproximadamente el 54% de la población total de 10.120.000 habitantes en 2010 vivían en áreas urbanas (Katz 2013, FAO 2011).

Los haitianos que habitan zonas rurales viven en un estado de crisis en la cual “la mayoría de los campesinos están preocupados por la seguridad alimentaria y la mitigación de riesgos” (Smucker et al. 2002). La mayoría de los haitianos viven dentro de los estrechos márgenes de la economía del hogar. Se estima que el 80% de los haitianos viven por debajo de la línea de pobreza (CIA 2013). La creciente escasez de tierras productivas añade un nivel significativo de riesgo para la población rural. Según la última encuesta oficial de las tierras agrarias, hecha en 1971, el 59% de todas las parcelas agrícolas eran de menos de una hectárea (White y Jickling 1995). Además, 88% de las familias que poseían tierras tenían un total de tres hectáreas o menos, combinando todas las parcelas agrícolas y tierras bajo otros usos (White y Jickling 1995). Debido a las prácticas de herencia tradicionales, en las cuales la familia divide todas las tierras en partes iguales entre los hijos, se estima que las tierras en zonas rurales son significativamente menores en tamaño que las tres hectáreas observadas en la encuesta de 1971 (White y Jickling 1995). La combinación del pequeño tamaño de las parcelas agrícolas, la disminución de la fertilidad del suelo debido a la erosión, y la imprevisibilidad climática, pueden resultar en una producción agrícola demasiado baja como para sostener a las familias rurales, que dependen tanto de la agricultura de subsistencia como de la agricultura comercial (Murray 2012, Balzano 1986).

1.3 La deforestación: una crisis ecológica en Haití

La deforestación en Haití ha sido considerada como una crisis en aumento, tanto por el gobierno haitiano como por la comunidad internacional de donantes. Un informe de 2002 del Ministerio Haitiano de Planificación describe la situación: “A partir de una cobertura forestal de 90% en la época precolombina y 60% en 1923, Haití cuenta ahora con una cubierta forestal de sólo el 1,5% de su superficie terrestre” (Swartley y Toussaint 2006, citado por Tarter 2010). Aunque las estimaciones de la extensión de la cubierta forestal varían, con la FAO estimando una cubierta total forestal en 2009 de 3,69% de la superficie total de Haití y otros estudios estimando una cubierta

forestal natural por debajo del 2%, el reconocimiento de la amenaza que la deforestación representa para Haití es ampliamente aceptado (FAO 2011, Bannister y Nair 2003). Imágenes de satélite de la frontera marcan un contraste fuerte entre el lado haitiano y el lado de la República Dominicana, y sugieren que causas socio-políticas han contribuido a la falta de cobertura forestal en Haití, además de las diferencias climáticas y topográficas entre las dos naciones (NASA 1998).

La deforestación en Haití está profundamente arraigada en su historia, a partir de la época colonial, cuando los bosques fueron talados para establecer plantaciones de azúcar y café, y para proporcionar madera para los mercados europeos (Library of Congress 2006, Tarter 2010). La deforestación continuó después de la independencia en 1804, cuando las concesiones forestales fueron vendidas para pagar la indemnización a Francia, a cambio del reconocimiento oficial del gobierno francés de la independencia del nuevo país (Library of Congress 2006). Durante los últimos 50 años, el crecimiento de la población y la migración rural hacia los centros urbanos han aumentado la presión sobre los recursos de los bosques (Tarter 2010). La creciente población urbana, tanto por el crecimiento demográfico de la población, como por la migración desde partes rurales hacia los centros urbanos, ha impulsado una mayor demanda de carbón, así como una mayor presión sobre otros recursos de los bosques. Se estima que más del 80% del carbón producido en Haití es consumido en Port-au-Prince (Van der Plas 2007, citado en Tarter 2010). En contraste, las poblaciones rurales hoy en día dependen en gran medida de la leña para satisfacer sus necesidades energéticas, dado que la fabricación de carbón no era una actividad tradicional en estas zonas (Van der Plas 2007, citado en Tarter 2010). La necesidad energética nacional satisfecha por el uso de carbón y leña varía entre el 66 al 85% (Howard 1998 y Van der Plas 2007, citados en Tarter 2010). El mercado de madera, para tablones y postes, también contribuye a las presiones sobre los recursos de los bosques. Ambos mercados (el de carbón y el de madera) tienen un papel importante en la economía campesina haitiana (Tarter 2010), como se explicará con más detalle más adelante en el presente capítulo. Asimismo, una alta demanda sobre el uso de tierra para los sistemas de producción de alimentos contribuye a la deforestación y a la erosión del suelo. En 2009, el total de la tierra cultivable de la superficie de Haití fue estimado en un 38%, pero los cultivos permanentes agregan un 10% a esta cifra (FAO 2011).

La pérdida de la cubierta forestal ha generado graves impactos ambientales, como la erosión, y la disminución de la capacidad de las montañas para retener el agua que alimenta los acuíferos y ríos (Tarter 2010). Por otro lado, la disminución de la fertilidad del suelo es otro factor que ha contribuido a la migración rural hacia las zonas urbanas. Por consiguiente, muchos de los agricultores que permanecen en las zonas rurales sufren por la disminución de la productividad agrícola (Howard 1998, citado en Tarter 2010). Las laderas desestabilizadas por la deforestación aumentan los riesgos de inundaciones y deslizamientos de tierra (Tarter 2010). El sedimento erosionado conduce a la sedimentación de los ríos, que a su vez amenaza a los arrecifes de coral (Tarter 2010).

1.4 El fracaso de los primeros proyectos de reforestación en Haití

En las décadas que siguieron al primer proyecto de desarrollo rural de la ONU en los años cuarenta, hubo varios proyectos de reforestación, la mayoría de los cuales fueron facilitados por el Gobierno de Haití y financiados por organismos multilaterales de desarrollo (Tarter 2010, Murray 1986). Existe consenso en la literatura sobre “el fracaso a gran escala” de la mayoría de estos primeros proyectos de reforestación (Tarter 2010). Motivada en parte por descontento con los resultados de los proyectos anteriores, así como también por una creciente sensibilidad a los factores sociales y culturales que influyen sobre los proyectos, a finales de los años setenta, la USAID encargó al antropólogo Gerald Murray el estudio de las causas del fracaso de los proyectos de reforestación (Escobar 1991).

Los proyectos de reforestación llevados a cabo desde 1940 y hasta fines de 1970, han sido objeto de diversas críticas. Mayormente se refieren a que los diseños técnicos ignoraban factores sociales importantes, tales como la tenencia de la tierra y las preferencias de los agricultores locales (White y Jickling 1995). Además, las críticas consideran que estos proyectos utilizaron varias estrategias para movilizar a las poblaciones campesinas a plantar árboles, tales como Alimentos-por-Trabajo o incentivos de trabajo asalariado, pero ninguno de los proyectos garantizó a los agricultores los derechos de uso de los productos forestales, lo cual resultó en falta de interés entre los campesinos para obtener plántulas gratis o para cuidar los árboles plantados. Como resultado de esto, la gran mayoría de los árboles de estos proyectos murieron o fueron cosechados sin ser replantados (Murray 1986). Algunos campesinos incluso llegaron a temer la participación en estos proyectos, por la creencia de que el gobierno podría expropiar las tierras plantadas con los árboles de los proyectos (Murray 1986). Estos fracasos “hicieron que el término ‘rebwazman’ (la palabra Creole para la reforestación) fuera asociado en el vocabulario rural con medidas coercitivas impuestas por el Estado” (Murray 1991).

Existe hasta el día de hoy una marcada falta de viabilidad de los modelos de reforestación a gran escala en Haití, debido a que la mayoría de las tierras privadas son pequeñas, y a las presiones sociales y económicas para producir alimentos. Tarter resume una de las principales conclusiones de Murray:

Los proyectos anteriores han puesto énfasis en la ‘reforestación’, dejando poco espacio para los cultivos agrícolas u otras actividades de subsistencia que son importantes para el agricultor haitiano. ‘Agroforestería’ [es decir el uso de sistemas agroforestales] es un mejor enfoque porque permite la continuación de otras actividades tales como la producción de cultivos o el cuidado de animales (Tarter 2010).

Basándose en una determinación de evitar reincidir en las fallas de los proyectos anteriores, la USAID adoptó un modelo nuevo para los proyectos de plantación de árboles, el cual fue incorporado en el AOP en 1981. El Dr. Murray se convirtió en el primer director del AOP, desde 1981 a 1983.

1.5 Las prácticas agroforestales tradicionales en Haití

Los agricultores haitianos han utilizado durante mucho tiempo los sistemas agroforestales para reducir los riesgos económicos y aumentar la seguridad alimentaria. Con las parcelas heredadas haciéndose más y más pequeñas con cada generación subsiguiente, es probable que los agricultores usaran los sistemas agroforestales “para desarrollar combinaciones únicas de árboles, plantas, y animales que pueden diversificar las estrategias de sustento y adaptarse a las tierras de menor superficie” (Tarter 2010). Los sistemas agroforestales tradicionales varían mucho en Haití y evolucionan constantemente, en respuesta a los cambios en los campos, la experiencia de los agricultores y los recursos disponibles (Bannister y Nair 2003). Estos sistemas incluyen: cercas vivas; huertos familiares (sistemas arbolados multi-especie que rodean la casa y proveen un ambiente donde se mezclan los cultivos alimentarios con el ganado); cultivos mixtos dispersos en los campos de cultivos anuales; y sistemas silvopastoriles (White y Jickling 1995, Balzano 1986). Igualmente los usos tradicionales de los árboles por los agricultores haitianos son diversos. Los árboles pueden ser utilizados para delinear las fronteras de la propiedad, hacer cercas vivas, obtener frutos, proporcionar leña, para la construcción, la fabricación de herramientas y de muebles, como forraje para los animales, o para dar sombra a los animales o al café, para usos medicinales, y fines religiosos y espirituales (Tarter 2010).

Observando las prácticas de plantar árboles en zonas rurales de Haití, Bannister y Josiah (1993) describen que “los agricultores siempre han practicado el cultivo del árbol, generalmente permitiendo el crecimiento de las plántulas de regeneración natural de especies deseables, plantando semillas o plántulas de árboles frutales cerca de la casa, o trasplantando plántulas silvestres.” Asimismo, White y Jickling (1995) confirman que muchos campesinos haitianos manejan árboles en los sistemas agroforestales a través de la regeneración natural o el trasplante de plántulas silvestres.

2. ESTUDIOS DE CASO DE DOS PROYECTOS AGROFORESTALES EN HAITÍ

2.1 El proyecto de extensión agroforestal

2.1.1 Información general del proyecto y antecedentes

El Proyecto de Extensión Agroforestal (AOP), conocido en criollo haitiano (Creole) como ‘Pwojè Pye-bwa,’ es “considerado el proyecto a gran escala de plantación de árboles más exitoso en la historia de Haití” (Tarter 2010). Entre 1981 y 1991, 48 millones árboles fueron distribuidos a aproximadamente 190.000 hogares (Murray y Bannister 2004). Hacia el final de las actividades del proyecto en el año 2000, el AOP (incluyendo fases posteriores del proyecto llevando otros nombres) había distribuido plántulas y/o involucrado un mínimo de 350.000 hogares haitianos en actividades del proyecto (Murray y Bannister 2004). Los documentos del proyecto reconocen que probablemente había un mayor número de beneficiarios del proyecto que no fueron contados, debido a que muchos agricultores participando en el AOP recibieron 200 a 300 plántulas gratis y distribuyeron un número considerable de plantas a sus familiares y amigos (Murray y Bannister 2004). Como lo describe Tarter, “una evaluación basada principalmente en plantas distribuidas demostraría que el proyecto fue exitoso. Datos basados en la rúbrica de la demanda de árboles dan cifras similares,” y Smucker establece que, “observando la demanda abrumadora de árboles es claro que el Proyecto se puede contar como un éxito” (Tarter 2010).

El AOP se puso en marcha en Haití en 1981 y, a pesar de que su estructura cambió a través de los años, continuó en alguna forma hasta el 2000. Debido a los cambios significativos en la estructura y objetivos del proyecto en 1991, y a la falta de seguimiento de las últimas fases del proyecto, este capítulo se centra únicamente en las actividades del AOP desde 1981 hasta 1991. Aunque fue financiado por la USAID, el AOP fue llevado a cabo principalmente por la Organización Panamericana de Desarrollo (PADF) y CARE, y fue implementado por diversas organizaciones no gubernamentales (Murray y Bannister 2004).

El objetivo principal del AOP fue “motivar a los campesinos haitianos a plantar y mantener árboles para la conservación del suelo, la producción de leña, y la generación de ingresos en las zonas rurales” (Smucker y Timyan 1995). El AOP se inició con el enfoque de distribuir plántulas de árboles gratis a los campesinos (Bannister y Josiah 1993). Se diferenció de los proyectos anteriores de reforestación por la forma en que promovió la integración de los árboles con los cultivos alimentarios. Adicionalmente promovió la idea de que los árboles son cultivos “domesticados” y generadores de ingresos, que se cosechan en escalas de tiempo largo y que se pueden vender como madera,

carbón, u otros usos que apoyan la economía del hogar (Murray 1986). El AOP también garantizó a los agricultores plena propiedad sobre los árboles plantados, brindando a éstos los derechos completos a determinar cómo serían sembrados y cosechados (Murray 1986). Aunque el AOP recomendó una serie de diseños técnicos y paquetes agroforestales, fue el agricultor quien determinó el diseño de la plantación de árboles en sus tierras. Estos factores tenían un papel importante en el éxito del proyecto, ya que generaron entusiasmo entre los agricultores.

El AOP ha recibido críticas por evaluar el éxito del proyecto mayormente usando datos cuantitativos, como el número de plántulas distribuidas, o los hogares participantes, y por describir los impactos del proyecto de manera cualitativa (Escobar 1991, Tarter 2010). No obstante, hay un monitoreo limitado de resultados cualitativos del AOP en sitios específicos. La mayoría de los informes existentes fueron financiados por la USAID. Antonio Balzano examinó el impacto del AOP en dos sitios específicos, Fond-des-Blancs y Beaumont, entre 1985 y 1986. Después de aproximadamente diez años, Balzano volvió a las mismas áreas para recoger datos cualitativos. En 2009, Andrew Tarter realizó una investigación de entrevistas en Fond-des-Blancs (que fue la primera localidad en donde las plántulas del AOP fueron entregadas) para evaluar los impactos a largo plazo del AOP mucho años después de que las actividades del proyecto original habían cesado. Una evaluación más general de sitios múltiples fue realizada por Smucker y Timyan en 1995 en ocho regiones atendidas por CARE y PADF durante la primera década del proyecto. Otros informes existen, pero son documentos internos de la USAID. Las secciones siguientes describen los principales resultados observados en las evaluaciones de los impactos socio-económicos y ambientales del AOP.

2.1.2 Resultados observados e impactos del AOP

La mayoría de los árboles del proyecto AOP fueron plantados en sistemas agroforestales diversos, muchos de los cuales son sistemas tradicionales, en los que se mezclan árboles con cultivos alimentarios (Figura 2). El estudio realizado por Balzano encontró que el 76% de los sitios del AOP estudiados “tenían árboles sembrados en asociación con otros árboles y cultivos alimentarios. Este modelo de plantación imita las estrategias para cultivar árboles que han sido practicadas por mucho tiempo en las áreas del estudio”, indicando que “la mayoría de las decisiones sobre la manera de plantar los árboles del AOP se llevan a cabo en el contexto de las estrategias agroforestales tradicionales” (Balzano 1986). Casi 25 años después, en Fond-des-Blancs, Tarter encontró que aproximadamente el 53% de su muestra de 61 agricultores indicaron que ellos practicaban sistemas agroforestales, y que la mayoría de las prácticas agroforestales utilizaron los árboles del proyecto” (Tarter 2010). El estudio por Smucker y Timyan (1995) encontró resultados parecidos, en que dos terceras partes de los agricultores continuaban la práctica de sembrar cultivos alimenticios anuales en los mismos sitios donde los árboles del proyecto habían sido sembrados. El sistema agroforestal más frecuentemente observado fue la plantación de árboles en los bordes de las parcelas, a pesar de que muchos árboles también fueron sembrados en huertos familiares (Smucker y Timyan 1995). Aproximadamente un tercio de los agricultores evaluados en el estudio estaban estableciendo parcelas de bosquetes permanentes.



Figura 2. Árboles del proyecto AOP sembrados con maíz en Fond-des-Blancs, Haití. Foto: Andrew Tarter (2009).

Este cambio de uso de la tierra probablemente fue debido en parte al hecho de que cada agricultor recibió grandes cantidades, aproximadamente 250 plántulas gratis (Smucker y Timyan 1995).

Las evaluaciones del AOP encontraron que los árboles del proyecto proveyeron beneficios socio-económicos importantes a los agricultores, ofreciendo una variedad de productos para usos comerciales y de subsistencia. El estudio realizado en 1995 reveló que los productos de mayor importancia económica que provenían de los árboles del proyecto fueron el carbón y la madera de construcción. Del volumen total de madera cosechada, el carbón representó más del 80% y la madera de construcción el 15% (Smucker y Timyan 1995). El carbón fue producido principalmente para la venta y la madera para uso doméstico. No obstante, el carbón representó sólo el 31% del valor monetario estimado, mientras que la madera de construcción representó el 60% del valor monetario obtenido por los agricultores, como se ve en la Figura 3 (Smucker y Timyan 1995). Además de lo anteriormente mencionado, una cantidad significativa de madera fue destinada para leña, estacas y postes pequeños, y por último, las raíces, las hojas y/o la corteza de árboles fueron cosechadas para usos medicinales (Smucker y Timyan 1995). En la investigación de Tarter en 2009, los agricultores enumeraron un total de ocho usos diferentes para los árboles (aunque no se refiere exclusivamente a los árboles del AOP, sino a los árboles en general). Su uso principal fue el siguiente: frutos en primer lugar, seguido por el carbón, y las tablas de madera, como puede observarse en la Figura 4. Casi el 79% de los agricultores indicaron que cortan árboles (Tarter 2010).

Los árboles contribuyen a diversificar la economía del hogar. Dos tercios de los agricultores entrevistados indicaron que los árboles sirven como fuente primaria o secundaria de ingresos anuales, lo que muestra su importancia para generar ingresos (Tarter 2010). En muchos casos, la cría de animales fue lo que más contribuyó a los ingresos anuales, como indicaron 39 de los 61 agricultores encuestados (Tarter 2010). Del mismo modo, el estudio de 1995 encontró que la producción de árboles proporciona beneficios socio-económicos importantes, pero que los árboles son solamente una parte de un sistema de producción agrícola en el cual los cultivos alimenticios son los principales y los más lucrativos (Smucker y Timyan 1995).

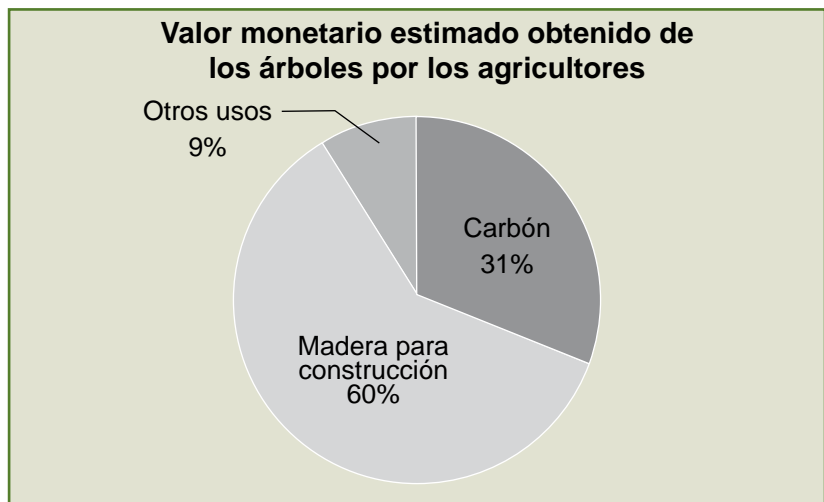


Figura 3. Valor monetario estimado obtenido de los árboles del proyecto por los agricultores, por cada uso. Fuente de datos: Smucker y Timyan (1995).

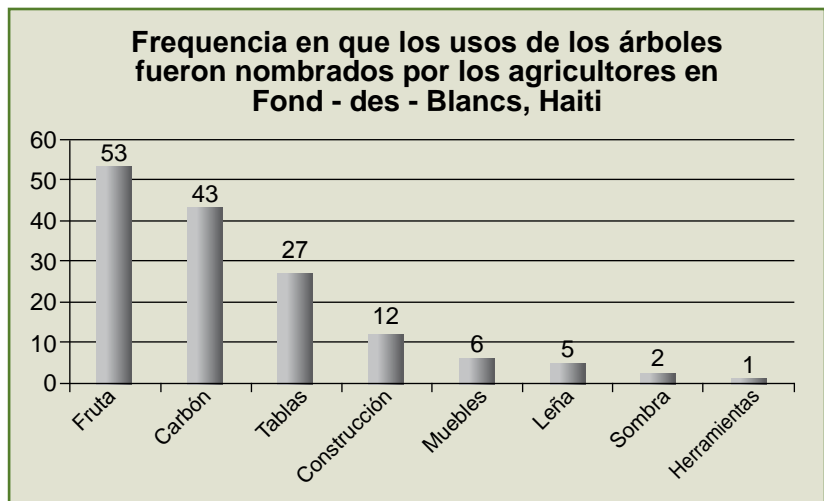


Figura 4. Frecuencia en que los agricultores en Fond-des-Blancs nombraron los usos de árboles (61 agricultores entrevistados). Fuente de datos: Tarter (2009).

Varios estudios de seguimiento del AOP indican que los agricultores valoran los árboles como una forma de ahorro a largo plazo. A tal efecto, es posible cosechar cuando hay necesidades económicas urgentes. El estudio de 1995 descubrió que “los niveles más significativos de la cosecha de madera, por valor monetario, ocurrieron entre ocho y once años después de la siembra” y que el 35% de los árboles del proyecto habían sobrevivido a los 12 años de edad (Smucker y Timyan 1995). En general, los agricultores no cortaban todos los árboles al mismo tiempo, sino que preferían cosecharlos según fuera necesario. Tarter halló respuestas parecidas cuando les preguntó a los agricultores acerca de sus razones para cortar los árboles: muchos respondieron “*nou koupe lè nou bezwen*” (en criollo haitiano, ‘cortamos cuando tenemos una necesidad’; Tarter 2010). Estos estudios, así como las entrevistas hechas por la autora con el personal del AOP, indican que la mayoría de los agricultores valoran altamente a los árboles como “cajas de ahorros” los cuales, a diferencia de los cultivos anuales, les permiten guardar su inversión a largo plazo (Murray 2012, Bannister 2012).

El alto valor que los agricultores asocian con los árboles del proyecto también se refleja en su preferencia por plantar especies maderables, especies frutales, y árboles frutales de injertos en los campos más favorables. En 1996, la Fundación Panamericana de Desarrollo (PADF) adelantó una encuesta en 1.540 hogares que participaban en el proyecto PLUS¹, el cual estaba relacionado con el AOP. Los agricultores participantes demostraron una tendencia a plantar plántulas de madera y frutales, así como árboles frutales injertados, en las parcelas más cercanas a la casa, en tierras aseguradas, y en las parcelas de mayor fertilidad del suelo (Bannister y Nair 2003, Smucker et al. 2002). Esto indica que los agricultores piensan que estos tipos de árboles merecen una protección mayor, que requieren un nivel adicional de seguridad sobre los derechos de propiedad de los árboles, y que necesitan un mejor ambiente para asegurar una cosecha más rentable (Bannister y Nair 2003). Más que las especies maderables, los agricultores favorecían a los árboles frutales en estas decisiones de uso de la tierra, lo cual coincide con la observación de Tarter de que los agricultores del AOP valoraban la fruta como el beneficio principal de los árboles.

En la ausencia del apoyo del proyecto, muchos agricultores seguían plantando plántulas, mayormente de regeneración natural, en sus tierras. Los estudios de 1995 y 2009 se realizaron después de que las actividades del AOP habían cesado en estas áreas, por lo cual proporcionan información sobre las prácticas de siembra de árboles sin recibir plántulas gratis. El estudio de 1995 observó que los agricultores manejaron la regeneración natural de las especies nativas en la mitad de los sitios dominados por especies de madera de alto valor (Smucker y Timyan 1995). Como se muestra en la Figura 5, el 70,5% de los encuestados indicaron que plantan y cuidan árboles, ya sea provenientes de los viveros locales o cuidando de la regeneración natural, o buscando árboles en otros lugares y trasplantándolos a los sitios deseables (Tarter 2010). Tarter declaró que aproximadamente la mitad de los agricultores indicaron que ellos encuentran plántulas de regeneración natural y las transportan a sus tierras (Tarter 2010). No obstante, es difícil determinar el grado en que las actividades del AOP influyeron sobre la tendencia de los agricultores a plantar árboles más allá de los años del proyecto.

¹ El AOP se convirtió en el proyecto de extensión agroforestal Sistemas Productivos de Uso de Tierras (PLUS), bajo el cual el proyecto operó desde 1992 hasta 2000. Aunque PLUS se basó en el AOP y continuó siendo financiado por USAID, el enfoque de PLUS difería del AOP en que no sólo se promovió la plantación de árboles, sino también de frutales injertados, estructuras de conservación de suelos como los linderos, y el uso de semillas mejoradas de cultivos (Bannister y Nair 2003). A pesar de estos cambios en la estructura del proyecto, los resultados de la encuesta de la PADF son útiles para comprender el valor percibido de los árboles del proyecto por los agricultores haitianos.

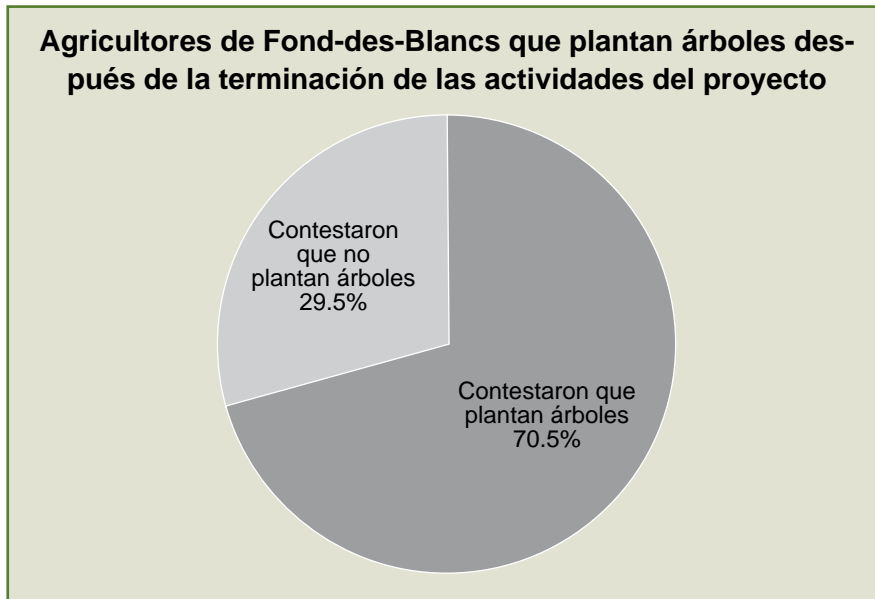


Figura 5. Porcentaje de los 61 agricultores entrevistados en Fond-des-Blancs, Haití, que contestaron que plantan árboles. Fuente de datos: Tarter (2010).

Varios servicios ambientales importantes han sido proporcionados por los árboles del AOP. Los árboles mejoraron la calidad del suelo y aumentaron la producción de biomasa en los sitios degradados (Smucker y Timyan 1995). Además, los árboles del proyecto tenían “un papel importante como árboles protectores que atraen a los dispersores de semillas y modifican el micrositio para favorecer la regeneración,” la cual es la fuente principal de plántulas que no pertenecen al proyecto (Smucker y Timyan 1995). Árboles del proyecto también fueron reconocidos como contribuyentes importantes en el aumento de la diversidad de hábitats, por proveer alimento y refugio para la fauna nativa (Smucker y Timyan 1995). Sin embargo, el grado en que estos servicios ambientales fueron logrados en cada sitio fue variable, debido a las diferencias en la distribución y diversidad de árboles del proyecto. Aunque los árboles del AOP proveen beneficios ambientales importantes y la cobertura de árboles ha aumentado en miles de micrositios dispersos, Smucker y Timyan reconocen que “la estrategia agroforestal no ha logrado restaurar la base total de los recursos naturales debido a la inherente fragmentación y la dispersión de parcelas campesinas, [y también por] el hecho de que el cultivo comercial de árboles no puede competir con los precios de los cultivos alimentarios” (Smucker y Timyan 1995).

En el caso específico de Fond-des-Blancs, las observaciones personales de Tarter, en combinación con las observaciones anteriores de Balzano y Smucker llevaron a la conclusión de que, a pesar de un aumento significativo en la producción local de carbón, “las colinas de Fond-des-Blancs no demostraron aumentos considerables en la deforestación desde 1981”. Esto indica que es “muy posible que los árboles [del AOP] satisficieron una necesidad que de otra manera hubiera resultado en la denudación de las laderas en Fond-des-Blancs” (Tarter 2010). Además de este impacto positivo del AOP en el alivio de la presión en los recursos de los árboles, Tarter encontró que muchos agricultores percibían beneficios ambientales por la siembra de árboles. Por ejemplo, indicaron que mezclan los árboles con los cultivos porque los árboles retienen el agua y protegen la tierra durante las tormentas y los huracanes (Tarter 2010).

2.2 El proyecto de reintroducción de madera de Haití (HTRIP)

2.2.1 Información general del proyecto y antecedentes

La misión del Proyecto de Reintroducción de Madera de Haití (HTRIP) es la siguiente: “Mejorar los medios de vida y restaurar el medio ambiente de las comunidades rurales en las montañas de la zona de servicio del Hôpital Albert Schweitzer, promoviendo y facilitando las prácticas agroforestales.” El Albert Schweitzer (HAS) es un hospital privado, fundado en 1956, en el pueblo de Deschappelles en el Valle de Artibonite. Aunque está estrechamente relacionado con el hospital, el proyecto HTRIP opera bajo una organización independiente, ‘Amigos de HAS,’ que recibe fondos de donaciones privadas, fundaciones e instituciones de desarrollo internacional (Friends of HAS 2011).

El modelo del proyecto HTRIP consiste en trabajar con las comunidades en un proceso de tres fases. Las actividades de la Fase I se centran en la educación, el establecimiento de viveros manejados por las comunidades, las actividades de conservación de suelo, y la plantación de árboles. El HTRIP comienza con la instalación de una parcela demostrativa para exponer las técnicas de conservación del suelo y el diseño de la plantación de árboles. Los técnicos de HTRIP luego llevan a cabo con los participantes un programa educativo de diez meses sobre la plantación y el manejo de árboles, el compostaje y otros temas relacionados. Al graduarse del programa, cada participante recibe un árbol frutal y aproximadamente 120 plántulas de árboles maderables de forma gratuita (Friends of HAS 2011). Al igual que el proyecto de AOP, HTRIP garantiza a cada participante la plena propiedad de los árboles y la determinación de su uso.

Posteriormente, cada comunidad participante empieza la Fase II del proyecto cuando las parcelas de plantaciones de árboles están establecidas. En esta fase, las actividades se enfocan en apoyar la implementación de técnicas agroforestales y el desarrollo de nuevos cultivos que pueden crecer en la sombra de los árboles, y en dar apoyo a los viveros de las comunidades. Varias de ellas que empezaron a trabajar con HTRIP en los primeros años del proyecto en 2006, se encuentran actualmente en la Fase II. En los próximos años, HTRIP extenderá sus actividades a la Fase III, en la cual espera apoyar a las comunidades en la cosecha final de los árboles y la comercialización de productos de madera.

2.2.2 Resultados observados e impactos del HTRIP

Desde sus inicios en 2006 hasta julio de 2012, los viveros de HTRIP produjeron un total de 892.547 árboles (HTRIP 2012). HTRIP estima que aproximadamente 263 hectáreas de tierra han sido plantadas con árboles del proyecto (HTRIP 2012). En 2012, las tres especies de árboles más producidas y con mayor demanda por los agricultores eran árboles maderables: Cedro amargo (*Cedrela odorata*); Cassia (*Senna siamea*); y Caoba (*Swietenia macrophylla*; HTRIP 2012). Considerando los resultados de los estudios del AOP que sugieren que los árboles del proyecto redujeron la deforestación y proveyeron servicios ecológicos, es muy probable que la plantación de árboles que HTRIP ha logrado hasta ahora haya traído beneficios ambientales notables. En 2012, la autora observó que algunas de las laderas que rodean las comunidades de HTRIP tenían considerables extensiones de cobertura arbórea (Figura 6).



Figura 6. Vista de los cerros alrededor del vivero comunitario en una comunidad de HTRIP. Foto: S. Marlay.

En este mismo periodo, entre 2006 y julio de 2012, un total de 3.837 miembros de las comunidades se graduaron del programa educativo de HTRIP y recibieron plántulas para plantar en sus tierras. El personal de HTRIP encontró entusiasmo en las comunidades para participar en HTRIP, y actualmente hay más comunidades que desean participar en el proyecto que lo que HTRIP puede apoyar. Este entusiasmo, así como el creciente número de miembros participantes dispuestos a comprometerse en un programa de entrenamiento de diez meses, sugiere que los agricultores perciben el valor de plantar árboles.

Aparte del número de plántulas producidas, la composición de especies, y el número de participantes de las comunidades, hoy en día hay poco seguimiento y evaluación de los sitios del HTRIP. Durante una visita de una semana a Deschappelles, la autora accedió a ocho comunidades de HTRIP, alcanzando a observar un total de diez parcelas sembradas con árboles del proyecto, cuatro viveros comunitarios, y el vivero central de HTRIP. La autora tomó las siguientes observaciones de sus visitas al campo y de sus conversaciones con el personal del HTRIP:

- Aparentemente, la madera, el carbón y la leña son los usos principales de los árboles. El personal de HTRIP todavía no ha observado muchos agricultores cosechando sus árboles. Su práctica general es cosechar árboles selectivamente. Esta práctica indica, tal como se encuentra en los estudios de AOP, que los agricultores valoran los árboles como “bancos” a largo plazo.
- Se observó también la alta prevalencia de árboles frutales, como mango, fruta de pan (*Artocarpus altilis*), y varias especies de cítricos. Era aparente que los agricultores valoran los árboles frutales bastante, ya que se observó que varias plántulas de frutales fueron protegidas

por barreras construidas, mientras que otros tipos de plántulas no tenían esta protección. Además, HTRIP regala una plántula frutal a cada graduado del programa educativo, lo cual sugiere que los árboles frutales son valorados por los agricultores.

- Había varios diseños agroforestales en las parcelas de HTRIP. De las diez parcelas de HTRIP observadas, dos eran parcelas experimentales. En éstas, los participantes plantaron los árboles con sólo un metro de distancia entre cada uno (en contraste con la distancia recomendada por los técnicos de HTRIP de dos metros), y sembraron los árboles de la misma especie en grupos, con el fin de observar el efecto de diferentes combinaciones de especies sobre la fertilidad del suelo. En las ocho parcelas restantes que no eran experimentales, el cultivo intercalado mixto era común. Muchas de estas parcelas fueron sembradas con varias especies de árboles del proyecto, que incluyeron alguna combinación de Cassia (*Senna siamea*), Cedro amargo (*Cedrela odorata*), Caoba (*Swietenia macrophylla*), y Llama del bosque (*Delonix regia*). En las parcelas más jóvenes que todavía tenían un dosel relativamente abierto, los cultivos alimenticios (como el mijo, el maíz y el gandul (*Cajanus cajan*)) fueron sembrados entre los árboles del proyecto (Figura 7). Las parcelas mayores, con un dosel más cerrado, en general, parece que están en transición hacia bosquetes. No está claro si esta transición desde cultivos alimentarios hasta bosquetes es preferida por los agricultores, o si lo que ocurre es que la densidad de los árboles del proyecto es demasiado alta en estas parcelas.



Figura 7. Personal de HTRIP observando árboles del proyecto, sembrados con maíz. Foto: Página web de HTRIP (2013).

- En cuanto a la disposición de los árboles del proyecto, algunas parcelas tenían árboles sembrados en hileras. Algunas de estas filas de árboles estaban paralelas a muros de rocas, zanjas o trincheras en el contorno del terreno, u otras estructuras de conservación de suelo construidas en cooperación con HTRIP. En otras parcelas, los árboles fueron sembrados en un diseño aleatorio. La autora observó muchas cercas vivas en las propiedades, mayormente compuestas por especies de rebrote u otras especies que no son producidas por HTRIP, como los cactus y las euforbiáceas.
- Varias parcelas visitadas por la autora tenían animales, como pollos, cabras y/o ganado, los cuales estaban pastoreando bajo los árboles del proyecto.

2.3 Consideraciones finales sobre los dos estudios de caso

La observación de las actividades de los proyectos del AOP y el HTRIP sugiere que existe un alto nivel de interés entre los agricultores haitianos en participar en proyectos agroforestales, y que la plantación de árboles puede proveer beneficios ambientales y socio-económicos importantes. Se puede explicar la participación de los agricultores en gran parte, por la adaptación del modelo agroforestal de los proyectos con las prácticas tradicionales y los intereses económicos de los agricultores. White y Jickling describen el AOP y otros proyectos parecidos que se desarrollaron en los años ochenta en Haití:

Las nuevas técnicas y enfoques agroforestales de los proyectos tuvieron éxito porque complementaron las técnicas indígenas y la evolución histórica de la domesticación de árboles en Haití... Los campesinos sembraron árboles de los proyectos por la misma razón por la que ya usaban sistemas agroforestales tradicionales: el aumento de la seguridad de subsistencia (White y Jickling 1995).

Los sistemas agroforestales tienen el potencial de mitigar el riesgo de los pequeños agricultores a través de la diversificación del sistema agrícola, la cual permite un aumento de las temporadas de cosecha y de los productos agrícolas, tales como “combustible, forraje, abono verde, alimentos, postes, frutas, y la sombra” (Hosier 1989, Pellek 1992).

Además, los sistemas agroforestales permiten que los agricultores integren actividades de ingresos a corto y a largo plazo en una sola parcela pequeña. Los agricultores haitianos valoran altamente el papel de los árboles como una forma de “ahorro que se puede convertir fácilmente en dinero en efectivo en situaciones de emergencia” (White y Jickling 1995, Balzano 1986). Los diversos estudios del AOP, así como descripciones del personal de HTRIP, indican que los árboles sirven como inversiones a largo plazo para el agricultor cuando necesitan dinero. Esto fue descrito por Murray y Bannister (2004):

El momento de la cosecha del árbol está determinado menos por las percepciones agronómicas por parte de los campesinos... que por una crisis u ocasiones especiales: matrícula escolar, bodas, enfermedades, funerales... Este corte durante una crisis no es un comportamiento errático de visión corta por parte de los campesinos. Es parte de una estrategia a largo plazo, en la cual el árbol maderable se convierte en un sustituto parcial de los ahorros que antes se lograban principalmente a través de la cría de ganado.

Sin embargo, es importante reconocer que, al igual que otras decisiones en el manejo de tierras, hay algunos riesgos para el agricultor en la implementación de prácticas agroforestales. Los costos laborales involucrados en la implementación y gestión de sistemas agroforestales pueden ser significativos, así como el riesgo de que los árboles sembrados puedan crecer y dar demasiada sombra, hasta el punto de que los rendimientos de los cultivos de alimentos se reduzcan. Así mismo, las tasas de supervivencia de las plántulas en Haití son bajas debido a la sequía, la intensa presión por las cabras, y otros factores. Esto puede verse en las tasas de supervivencia de las plántulas del AOP que empezaban en 30% y después de varios años llegaron a 50% (Murray y Bannister 2004). Los agricultores de Haití, al igual que el resto del mundo, tienen que pensar en estos y otros riesgos a su seguridad económica y alimentaria para decidir cómo manejar sus parcelas. Sin embargo, la evidencia de los estudios de campo presentados en este capítulo indica que los agricultores en Haití consideran los sistemas agroforestales más como una estrategia para mitigar el riesgo que como un sistema que genera riesgo.

Los beneficios ambientales de sistemas agroforestales también son ampliamente reconocidos, tales como: el aumento de la fertilidad del suelo a través de la deposición de materia orgánica y el ciclo de nutrientes; el aumento en la retención y la infiltración de agua en los suelos; las temperaturas reducidas de la superficie del suelo y el aumento de la capacidad de los suelos para retener la humedad por las capas de hojarasca; su función como barreras contra el viento; el aumento potencial de la biodiversidad de la flora y la disponibilidad de hábitat para la fauna nativa; y, una de las funciones más importantes en el contexto haitiano, el control de la erosión (Pellek 1992).

3. RECOMENDACIONES PARA PROYECTOS AGROFORESTALES EN HAITÍ

Esta sección ofrece recomendaciones sobre los desafíos y oportunidades de los proyectos agroforestales en Haití, basadas en los estudios del AOP y HTRIP.

3.1 Recomendación #1: Los proyectos agroforestales deben promover el uso de especies nativas, utilizando solamente las especies exóticas que son apropiadas en el contexto sociocultural y ecológico

Considerando la pérdida de muchas especies nativas de árboles y fauna asociada, las especies nativas de árboles deberían ser promovidas más que las especies exóticas en proyectos agroforestales (Smucker y Timyan 1995). Ambos proyectos, el AOP y el HTRIP, reconocen que la preservación de la biodiversidad a través de la integración de árboles nativos en proyectos agroforestales debe ser una prioridad (Smucker and Timyan 1995). El HTRIP afirma que, "la restauración de las especies raras y nativas de árboles maderables de Haití, tales como *lignum vitae* (*Guaiacum officinale*) y la caoba (*Swietenia mahoganii*), es el objetivo final del proyecto" (Sprenkle 2006).

Muchos agricultores podrían preferir algunas especies nativas sobre las exóticas, en parte por un riesgo potencial de plantar especies desconocidas. La experiencia del AOP demostró la preferencia de muchos agricultores por una selección más amplia de especies, incluyendo nativas. En la primera fase del AOP, el proyecto proporcionó a los agricultores solamente seis especies

exóticas: *Acacia auriculiformis*, *Azadirachta indica*, *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Leucaena leucocephala*, y *Senna siamea* (Murray y Bannister 2004). Respondiendo a la petición de los agricultores a lo largo de los 20 años del AOP, el número total de especies producidas por el proyecto se había ampliado a 74, muchas de las cuales eran nativas (Murray y Bannister 2004). Además, en el pueblo de Fond-des-Blancs, Tarter encontró que el cedro (*Cedrela odorata*), una especie nativa, era el árbol maderable más común en las propiedades de los agricultores entrevistados (Timyan 1996, Tarter 2010). En el proyecto HTRIP, dos de las cuatro especies de árboles más solicitadas por los agricultores y que colectivamente constituyeron el 80% de las plántulas sembradas por HTRIP en 2012 fueron nativas: cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*; HTRIP 2012).

Las especies exóticas deben ser utilizadas cautelosamente, y sólo después de evaluar si la especie es apropiada para las condiciones socio-culturales y ambientales del proyecto. La introducción de *Leucaena leucocephala* es un ejemplo de que algunas especies exóticas pueden aumentar el riesgo para el agricultor. Aunque varios estudios han identificado el potencial de la *Leucaena* para contribuir a mejorar las laderas de Haití, muchos agricultores que participan en el AOP eran reacios a plantarla (Pelleck 1992, Sahnnon et al. 1997, Isaac et al. 2000). Sabiendo que esta especie es tan resistente y difícil de eliminar, muchos agricultores con propiedades pequeñas no la sembraron por el riesgo de que se vuelva invasora (Balzano 1986, Murray y Bernet 2012, Vilna 2013). Además, *Leucaena leucocephala* puede ser tóxica para el ganado si se consume en cantidades grandes. La práctica común en zonas rurales de Haití de dejar el ganado suelto previene la posibilidad de controlar el pastoreo y contribuye aún más a los riesgos mencionados.

Las preferencias de los agricultores deben ser consideradas en el diseño del proyecto agroforestal. Cabe señalar que mientras muchas especies nativas son preferidas por los agricultores, también hay varias especies exóticas que se han vuelto populares en Haití. Cassia (*Senna siamea*), por ejemplo, fue la especie más sembrada por agricultores participantes en el AOP desde 1981 a 1991, y esta especie también fue la segunda especie más producida en los viveros de HTRIP en 2012 (Timyan 1996, HTRIP 2012). Cassia se ha vuelto popular entre los agricultores haitianos debido a su crecimiento rápido en una gama amplia de sitios; su capacidad de rebrotar; falta de tendencia a actuar como maleza; el hecho de que por lo general, el ganado no la consume; y la capacidad para integrarse bien en los sistemas agroforestales tradicionales (Timyan 1996).

Como este análisis indica, las especies nativas deben ser integradas en los modelos de proyectos agroforestales, en combinación con aquellas especies exóticas que presentan bajo riesgo y altos beneficios para los agricultores. Los proyectos también deben considerar el uso de especies con capacidad de rebrotar, así como especies de alto valor. Lo más importante es que las decisiones sobre la composición de especies en un proyecto involucren a los agricultores para que éstas reflejen sus preferencias y les ayuden a mitigar los riesgos.

3.2 Recomendación #2: Los sistemas agroforestales tradicionales y el conocimiento de los agricultores locales deben ser incorporados en el diseño de los proyectos

La medida en que los proyectos incorporan sistemas agroforestales tradicionales en sus diseños puede afectar el grado en que las actividades del proyecto son adoptadas por los agricultores. Varios estudios de seguimiento del AOP encontraron que los árboles del proyecto fueron sembrados principalmente dentro de sistemas agroforestales tradicionales, como en los bordes de las

parcelas y en huertos familiares (Balzano 1986, Smucker y Timyan 1995). En parte, el éxito del AOP se ha atribuido al hecho de que el proyecto permitió a los agricultores tomar las decisiones finales sobre cómo plantar los árboles. La encuesta de 1996 de los participantes del proyecto PLUS, que evolucionó directamente del AOP, indica que los agricultores habían percibido un nivel de riesgo en la implementación de una tecnología nueva y desconocida. En contraste con las plántulas maderables, las plántulas frutales y los árboles frutales injertados, que fueron localizados en parcelas con tenencia de tierra segura, cercanas al hogar, y de mayor fertilidad, los setos (mayormente de *Leucaena leucocephala*) diseñados e introducidos por el proyecto fueron instalados por agricultores en parcelas con tenencia de tierra insegura, más lejos del hogar, de fertilidad más baja, y de pendientes pronunciadas (Smucker et al. 2002, Bannister y Nair 2003). Es posible que esta decisión sobre el lugar para plantar los setos pueda ser debida, en parte, al deseo de los agricultores de fortalecer sus reclamos de tierras inseguras, o porque reconocen los beneficios de los setos para la conservación de suelos en tierras inclinadas. Sin embargo, esta elección de plantar los setos en sitios menos deseables “puede reflejar una estrategia de minimización de riesgos cuando se trata de una nueva práctica” (Smucker et al. 2002). Los agricultores podrían ser más reacios a implementar sistemas agroforestales con los cuales no están familiarizados.

Además, muchos agricultores que participaron en el AOP demostraron ingenio al adaptar los diseños del proyecto con el fin de hacer que se parecieran más a las prácticas con las que ellos estaban familiarizados y que satisficieran sus necesidades de subsistencia y de economía. Bannister y Josías describen un ejemplo en que los agricultores “convierten lo que los técnicos [del AOP] tenían como intención de ser una estrategia de conservar y enriquecer el suelo... en una estrategia para mejorar el ingreso microeconómico” (Murray y Bannister 2004):

*Los agricultores están adaptando el paquete técnico del proyecto de los setos del contorno a sus propias condiciones particulares y los recursos disponibles. En lugar de emplear exclusivamente especies como *Leucaena leucocephala* para los setos, muchos agricultores están utilizando plantas que ellos ya conocen y que les ofrecen productos múltiples, como alimento (gandul, piña), fibra (agave, algodón) y aceite (ricino) (Bannister y Josías 1993).*

Otro ejemplo en que los agricultores adaptaron el diseño del proyecto era cuando los agentes de extensión del AOP les enseñaron cómo podar todos los setos de una vez y distribuir las hojas en el suelo como abono. En la práctica, los agricultores podaron los setos según era necesario y usaron las hojas como alimento para el ganado y los pedazos de madera para la leña (Bannister y Josías 1993). Estas prácticas demuestran el ingenio de los agricultores haitianos para seleccionar ciertos elementos de un diseño de proyecto extranjero que sirve como base para un sistema nuevo de manejo de la tierra que responda mejor a sus necesidades.

En resumen, los proyectos agroforestales deben involucrar a los agricultores con el fin de incorporar profundamente el ingenio y el conocimiento local en los diseños de los proyectos, tanto en el comienzo como durante la vida del proyecto. Hosier (1989) aconseja a los ejecutores de proyectos agroforestales en Haití que, “la difusión de las prácticas agroforestales requiere un trabajo innovador con la población local y las prácticas tradicionales”. Dándose cuenta de que el personal de AOP no estaba desarrollando soluciones en conjunto con los agricultores, Bannister y Josías (1993) recomendaron, para mejorar el proyecto, que “los recursos y la experiencia del personal del proyecto deben combinarse con la experiencia y el conocimiento de los agricultores. Tal combinación debe producir tecnologías agroforestales más interesantes y más adecuadas de manera más eficiente”. Una estrategia basada en estas experiencias del AOP aumentará la adopción de las actividades del proyecto y sus beneficios socio-económicos.

3.3 Recomendación #3: El ganado debe ser incorporado en los modelos de proyectos

La ganadería es primordial en la sociedad haitiana rural. Aunque los árboles son valorados como una estrategia de ahorro a largo plazo, el ganado es considerado el ‘banco’ principal y de más valor en los hogares rurales (Balzano 1986). El ganado es un componente clave en muchos sistemas agroforestales tradicionales de Haití, en los cuales es común integrarlo en los bosquetes y las arboledas de mango y café, así como en los campos de cultivo después de la cosecha, para que se alimente de los residuos (Balzano 1986). Durante su investigación la autora observó una tendencia similar en las parcelas de HTRIP, donde se encontraron vacas, cabras, aves de corral, y otros animales en las parcelas sembradas con árboles (Figura 8). El estudio de Tarter (2010) también observó la importancia del ganado en la vida haitiana rural, en que aproximadamente el 90% de los hogares en su encuesta poseía al menos un animal y aproximadamente dos tercios de los agricultores mencionaron a los animales como su fuente principal de ingresos. Se destaca que “la propiedad de animales ha sido un factor que alivia la tala de árboles,” lo cual se confirmó mediante la preferencia de los agricultores de vender animales más que talar árboles porque “los animales no solamente alcanzan un precio más alto que el carbón o la madera, sino que también se pueden vender más rápidamente” (Tarter 2010).



Balzano y Tarter identifican el ganado como una oportunidad grande para proyectos agroforestales. Una de las recomendaciones finales de Balzano (1986) para la mejora del AOP era “usar como base los sistemas agroforestales existentes, especialmente los que incorporan el ganado”. Del mismo modo, Tarter (2010) expresa que “la ganadería y los proyectos de distribución de animales deben ser desarrollados en conjunto con las operaciones de plantar árboles,” debido a una tendencia de los agricultores a plantar más árboles cuando también son propietarios de ganado.

Es importante destacar que proyectos agroforestales se enriquecerían mediante el uso de varios tipos de sistemas agrosilvopastoriles, así como las especies que proporcionan cantidades altas de forraje de buena calidad. El estudio de Tarter (2010) encontró que la fruta de árboles es una fuente importante de alimento y forraje para los animales. Esto sugiere que los diseños de sistemas agroforestales deberían considerar utilizar especies de árboles frutales para

proveer forraje para los animales. Además, las especies de rebrote deberían ser consideradas fuentes buenas de forraje en sistemas de poda.

Asimismo, es importante que los proyectos experimenten con especies forrajeras tolerantes a la sombra. Desde 2012, HTRIP comenzó a experimentar con la siembra de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) bajo la sombra de los árboles maduros del proyecto para este fin (Bernet 2012). En las fases posteriores del AOP hubo más experimentación con la instalación de setos de especies herbáceas para el pastoreo de ganado. El proyecto también ha experimentado con la caña de azúcar, el género de *Tripsacum*, y el pasto elefante, sin embargo, menos del 1% de los setos instalados por el proyecto en el 2000 fueron sembrados entre las especies leñosas (Bannister 2012). Existe un gran potencial para una integración mayor del ganado en el diseño de proyectos agroforestales en Haití, y más experimentación es necesaria para determinar las combinaciones de especies que podrían incorporar animales.

No obstante, cabe señalar que el ganado, en particular las cabras, también plantea una amenaza grave para la supervivencia de las plántulas. Los administradores del AOP, la tesis de Tarter, y el personal de HTRIP identificaron que las cabras fueron una amenaza para la supervivencia de las plántulas sembradas por el proyecto. Es muy común que las cabras estén sueltas, especialmente en las épocas secas cuando no es posible que los agricultores provean forraje suficiente para mantenerlas atadas. La autora observó varias estrategias que los agricultores usan para mitigar el impacto negativo de las cabras. Una de ellas es poner collares triangulares de madera alrededor de los cuellos de las cabras para evitar que pasen a través de las vallas que rodean los campos de cultivo (Figura 9). Otra estrategia utilizada para proteger las plántulas, en particular de especies frutales, es construir una barrera densa de ramas alrededor de la plántula (Figura 10).



Figura 9. Un collar típico de madera para las cabras que evita el pastoreo en parcelas agrícolas.
Foto: S. Marlay.



Figura 10. Una barrera densa construida por un participante de HTRIP para proteger una plántula frutal del ganado. Foto: S. Marlay.

3.4 Recomendación #4: Los proyectos agroforestales deben investigar e incorporar cultivos alimenticios tolerantes a la sombra

El diseño del sistema agroforestal tiene que ser considerado cuidadosamente para asegurar que el uso de la tierra resultante cumpla con las necesidades de los agricultores. En la región del proyecto de HTRIP (Deschapelles) y en una de las regiones del AOP (Fond-des-Blancs), los tres cultivos más comunes requieren una intensidad alta de luz: el maíz; el mijo; y los frijoles o el gandul (Tarter 2010, Bannister 2012, Bernet 2012, personal de HTRIP 2013). Cuando los árboles son introducidos a los campos de estos tres cultivos, los productos y los beneficios de estos campos cambian con el crecimiento de los árboles. Los campos tienden a transformarse en bosquetes bajo sistemas silvo-pastoriles, o combinaciones de especies tolerantes a la sombra bajo los árboles. Por esto, es necesario considerar el uso deseado de la parcela, porque los agricultores que dan prioridad al cultivo de alimentos van a manejar sus parcelas con un diseño agroforestal muy diferente a los agricultores que dan prioridad a la producción de leña o madera, o al pastoreo para el ganado. El manejo de la propiedad de cada agricultor en parcelas distintas podría mitigar los conflictos entre los usos de la tierra y permiten que áreas que alguna vez fueron cultivadas para alimentos cambien a bosquetes o a sistemas agrosilvopastoriles, mientras que otras áreas se mantienen para la producción de alimentos.

Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, los sistemas agroforestales tienen que ser diseñados para minimizar la competencia entre los árboles y los cultivos alimentarios. Para mantener la producción de alimentos en las parcelas de proyecto, el espacio entre los árboles debe permitir que llegue suficiente luz a los cultivos. Lograr la integración ideal de los árboles y los cultivos alimentarios ha sido un reto para el AOP y el HTRIP, ya que muchos árboles están madurando y dando demasiada sombra a los cultivos. La autora observó que muchas de las parcelas de HTRIP tenían una densidad alta de árboles, la que facilita la transición de estas parcelas a sistemas de bosquetes pero es menos compatible con la producción de alimentos. Si la prioridad es mantener la producción de alimentos, los árboles en las parcelas de HTRIP ya existentes probablemente tendrán que ser raleados o podados, mientras que los árboles en las nuevas parcelas de HTRIP deberían ser sembrados

con distancias más grandes entre ellos. La investigación de Balzano (1986) encontró que el 32% de las parcelas en el estudio tenían los árboles de proyecto AOP intercalados con los cultivos alimentarios a una distancia menor que la distancia recomendada de tres metros, lo que podría reducir el crecimiento de los árboles adyacentes y los cultivos alimentarios. Más de dos décadas después, Tarter (2010) encontró que menos de la mitad de los agricultores en su encuesta cultivaban especies relativamente tolerantes a la sombra. De los 61 agricultores entrevistados, 30 sembraron zapallo, 29 sembraron camote, 19 sembraron yuca, 8 sembraron ñame, y 5 sembraron café, todos los cuales son cultivos con tolerancia a la sombra. La presencia de estos cultivos sugiere que hay un potencial mayor de integrar más especies bajo los árboles de proyecto.

Los proyectos agroforestales deben experimentar con combinaciones diferentes de árboles y cultivos alimentarios, así como facilitar la experimentación de los propios agricultores para descubrir las asociaciones ideales entre ambos. En el AOP, muchos agricultores crearon sus propias adaptaciones a los modelos de proyecto, mediante la plantación del ñame y el camote en un diseño modificado de los setos (Murray y Bannister 2004). HTRIP también ha reconocido la importancia de ayudar a los agricultores en la identificación de combinaciones mejores de especies. En 2011, HTRIP comenzó a experimentar con la siembra de ñame, cacao y taro bajo la sombra de los árboles de proyecto, pero solamente el ñame tuvo éxito (Friends of HAS 2011, Bernet 2012).

3.5 Recomendación #5: Los proyectos deben ser subvencionados para mantener el nivel de reforestaciones deseado. Sin apoyo, los agricultores probablemente continuarán plantando árboles en cantidades pequeñas, dependiendo mayormente de la regeneración natural

Muchos proyectos agroforestales luchan por cumplir con el objetivo final de lograr la sostenibilidad, en la cual los agricultores serían capaces de producir y plantar las plántulas a la misma tasa y eficacia después de que las actividades de proyecto se acaben. Tanto el AOP como el HTRIP proporcionaron gran cantidad de plántulas gratuitas a los participantes, reduciendo los costos en que incurrieron al plantar y cuidar los árboles. Al reflexionar sobre las implicaciones futuras del AOP, Murray y Bannister (2004) dicen que “No tenemos ninguna evidencia... de que [los agricultores] establecerán viveros por su propia cuenta, sin subsidios,... y dudamos que vayan a comprar plántulas de viveros comerciales”. Aunque los costos de producción de plántulas en viveros varían ampliamente, es probable que estos costos excedan los medios económicos de muchos agricultores, si se tiene en cuenta que aproximadamente el 80% de los haitianos vive por debajo del umbral de pobreza de un dólar al día. Como ejemplo, en el primer año de funcionamiento de HTRIP, le costó a la organización \$4,92 por cada árbol producido y plantado, incluyendo todos los gastos de suministros, personal, etc. Este costo se redujo a \$1,04 por cada árbol en 2010-2011, y el costo fue estimado a reducirse a \$0,77 por cada árbol en 2012 (Friends of HAS 2011). Pocos agricultores haitianos se encuentran en condiciones de gastar esos recursos económicos para producir y plantar cada árbol, puesto que los ingresos de productos del árbol demoran años en llegar. Sin embargo, varios agricultores de Fond-des-Blancs indicaron que ellos actualmente compran las plántulas de viveros comerciales y/o afirmaron que estarían dispuestos a pagar por los árboles maderables (Tarter 2010). Aunque se desconoce el grado en que los agricultores producirían sus propias plántulas en viveros o pagarían el precio de los viveros comerciales, se puede presumir que los niveles de la producción de plántulas se reduciría significativamente ante la ausencia de subvenciones o apoyo del proyecto.

Dado que los costos asumidos por los agricultores para producir sus propias plántulas probablemente son prohibitivos, los agricultores haitianos dependen en gran medida de la regeneración natural y el trasplante para plantar árboles. Murray y Bannister (2004) describen los resultados de varios estudios del AOP, concluyendo que los agricultores “han manejado de manera creativa el rebrote y las plántulas de regeneración natural mucho después de la terminación del proyecto”. Aunque este tipo de manejo es más eficiente económicamente, las estrategias tienen rendimientos de plántulas más bajos. De igual modo, Smucker y Timyan (1995) observaron después de la terminación de actividades del AOP que:

Los agricultores protegen la regeneración natural y propagan activamente los árboles del proyecto, pero la mayoría no ha continuado plantando árboles en la misma escala en que originalmente plantaron árboles con el apoyo del AOP. [Los agricultores] notan que las plántulas del vivero central son superiores, que algunas especies son difíciles de propagar, y que la producción de un gran número de plántulas es cara.

Hay que señalar que las consideraciones financieras no son las únicas limitaciones para plantar árboles. Un estudio del AOP encontró que “Muchos agricultores indicaron que podrían recibir más ingresos de los árboles que a partir de cultivos. Cuando se les preguntó por qué ellos no plantan más árboles, una respuesta común fue la falta de espacio o el tiempo que tienen que esperar” para recuperar los ingresos (Tarter 2010).

Los viveros comunitarios son instalados con frecuencia como un elemento clave de los proyectos agroforestales para fomentar la sostenibilidad y difundir el conocimiento a los agricultores sobre cómo propagar las plántulas. El AOP y el HTRIP instalaron viveros comunitarios. En ambos modelos, el proyecto proporcionó los viveros con las semillas, el equipo y la capacitación. En el caso de HTRIP, las comunidades en la Fase I del proyecto reciben apoyo financiero para sus viveros a través de un subsidio pequeño de un goud (aproximadamente \$0,025) por cada plántula producida hasta un máximo de 7.000 árboles por año (HTRIP 2012). Esta estrategia de subsidiar los viveros comunitarios ha logrado buen resultado en cuanto a la gran cantidad de plántulas producidas, con 47.388 árboles producidos en el vivero central de HTRIP de un total de 300.659 árboles producidos y plantados por HTRIP en 2011-2012 (HTRIP 2012). Del mismo modo, los viveros comunitarios subvencionados por el AOP lograron gran éxito en la producción de plántulas, con más de 1.000 viveros comunitarios del AOP contando con una producción total de 500.000 plántulas solamente en 1991 (Bannister y Josías 1993). Aunque aspectos importantes de sostenibilidad se están logrando mediante la difusión de conocimiento en el manejo de viveros, y por dar a las comunidades la propiedad de su manejo y la distribución de las plántulas, los viveros del AOP y HTRIP necesitan el apoyo del proyecto para mantener un nivel alto de producción. Sin apoyo financiero, los agricultores haitianos probablemente dependerán de los métodos tradicionales de la regeneración natural y el trasplante de plántulas naturales que, aunque exitosos, disminuyen en gran medida el nivel de árboles plantados.

CONCLUSIONES

El análisis de dos proyectos agroforestales en Haití, el AOP y el HTRIP, indica que existe un gran entusiasmo entre los agricultores haitianos en participar en proyectos agroforestales y que los proyectos agroforestales tienen un gran potencial para brindar beneficios importantes, tanto ambientales como socioeconómicos, a zonas rurales de Haití. Cinco recomendaciones fueron presentadas para la consideración de los proyectos agroforestales actuales y futuros en Haití, que podrían ayudar a aumentar sus impactos positivos. Se recomienda:

- 1) Promover el uso de especies nativas;
- 2) Incorporar los sistemas agroforestales tradicionales y el conocimiento de los agricultores;
- 3) Incorporar al ganado en los modelos de proyectos;
- 4) Investigar e incorporar cultivos alimenticios tolerantes a la sombra; y,
- 5) Seguir apoyando a las comunidades, por medio de subvenciones, para mantener un nivel alto de producción y plantación de árboles.

Finalmente, los sistemas agroforestales deben ser considerados como un componente esencial de una estrategia más amplia, que incorpora el medio ambiente y los aspectos sociales y políticos, para enfrentar los retos de la deforestación, la degradación de tierras, y la pobreza en Haití.



Vivero de agricultores con especies frutales para SAF. Foto F. Montagnini.

BIBLIOGRAFÍA

- Balzano, A. 1986. Socioeconomic Aspects of Agroforestry in Rural Haiti: A final report of the research anthropologist. University of Maine Agroforestry Outreach Research Project, USAID Contract No. 521-0122-C-00-5012-00.
- Bannister, ME; Josiah, SJ. 1993. Agroforestry Training and Extension: The Experience from Haiti. *Agroforestry Systems* 23:239-251.
- Bannister, ME; Nair, PKR. 2003. Agroforestry Adoption in Haiti: The Importance of Household and Farm Characteristics. *Agroforestry Systems* 57:149-157.
- Bannister, M. noviembre 2012. Comunicación personal (Dr. Bannister era uno de los expertos agroforestales del AOP de 1981 a 2000).
- Bernet, R. noviembre 2012. Comunicación personal (Sr. Bernet era el director del HTRIP de 2011 a 2012).
- CIA (U.S. Central Intelligence Agency). 1999. Haiti Shaded Relief Map. University of Texas at Austin, Perry-Castañeda Library Map Collection (en línea). Disponible *En:* <http://www.lib.utexas.edu/maps/haiti.html>
- CIA. 2013. The World Factbook (en línea). Disponible *En:* <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ha.html>
- Escobar, A. 1991. Anthropology and the Development Encounter: The Making and Marketing of Development Anthropology. *American Ethnologist* 18(4):658-682.
- Friends of Hôpital Albert Schweitzer Haiti (HAS). 2011. The Haiti Timber Re-Introduction Project at Hôpital Albert Schweitzer: Deschappelles, Haiti. Publicacion interna del proyecto.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. FAOSTAT (en línea). Disponible *En:* <http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx#ancor>
- FAO. 2011. FAOSTAT (en línea). Disponible *En:* <http://faostat.fao.org/site/550/default.aspx#ancor>
- HAS Haiti Timber Re-Introduction Project. 2013. Website Photo Gallery (en línea). Disponible *En:* <http://reforesthaitinow.org/index.html>
- Hosier, RH. 1989. The Economics of Smallholder Agroforestry: Two Case Studies. *World Development* 17(11):1827-1839.
- HTRIP. 2012. Presentación de PowerPoint dada a los donantes de HTRIP.
- Isaac, L; Wood, CW; Shannon, DA. 2000. Decomposition and Nitrogen Release of Prunings from Hedgerow Species Assessed for Alley Cropping in Haiti. *Agronomy Journal* 92(May-June):501-511.
- Katz, JM. 2013. *The Big Truck That Went By: How the World Came to Save Haiti and Left Behind a Disaster*. New York, NY, USA, Palgrave Macmillan. 301 p.
- Library of Congress, Federal Research Division. 2006. Country Profile: Haiti (en línea). Disponible *En:* <http://lcweb2.loc.gov/frd/cs/profiles/Haiti.pdf>

- McGinty, M; Swisher, ME; Alavalapati, J. 2008. Agroforestry Adoption and Maintenance: Self-Efficacy, Attitudes and Socio-Economic Factors. *Agroforestry Systems* 73: 99-108.
- Mercer, DE. 2004. Adoption of Agroforestry Innovations in the Tropics: A Review. *Agroforestry Systems* 204411:311-328.
- McClintock, N. 2003. Agroforestry and Sustainable Resource Conservation in Haiti: A Case Study. Working paper, Raleigh, NC, North Carolina State University.
- Murray, GF. 1986. Seeing the Forest While Planting the Trees: An Anthropological Approach to Agroforestry in Rural Haiti. Pp. 193-226 *En*: Brinkerhoff, D; Garcia-Zamor, J. (Eds.). *Politics, Projects, and People: Institutional Development in Haiti*. New York, Praeger.
- Murray, GF. 1991. The Tree Gardens of Haiti: From Extraction to Domestication. Pp. 35-44 *En*: Challinor, D; Frondorf, MH. (Eds.). *Social Forestry: Communal and Private Management Strategies Compared*. Washington, DC, School of Advanced International Studies, John Hopkins University.
- Murray, GF; Bannister, ME. 2004. Peasants, agroforesters, and anthropologists: A 20-year venture in income-generating trees and hedgerows in Haiti. *Agroforestry Systems* 61:383-397.
- Murray, GF. noviembre 2012. Comunicación personal (Dr. Murray era uno de los antropólogos influyentes en el diseño del AOP en 1981, y era el primer director del AOP de 1981 a 1983).
- NASA (National Aeronautics and Space Administration NASA)/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio. 1998-2001. The border between Haiti and the Dominican Republic (en línea). Disponible *En*: <http://svs.gsfc.nasa.gov/goto?2640>
- Pellek, R. 1992. Contour hedgerows and other soil conservation interventions for hilly terrain. *Agroforestry Systems* 17:135-152.
- Personal de HTRIP. marzo 2013. Comunicación personal (en forma de conversaciones con el director de HTRIP, el asesor técnico, y varios técnicos de HTRIP).
- Shannon, DA; Isaac, L; Brockman, FE. 1997. Assessment of Hedgerow Species for Seed Size, Stand Establishment and Seedling Height. *Agroforestry Systems* 35:95-110.
- Smucker, GR; Timyan, JC. 1995. Impact of Tree Planting in Haiti: 1982-1995. Work performed under USAID Contract No. 521-0217-C-0004-00, Unpublished internal USAID study.
- Smucker, GR; White, TA; Bannister, M. 2002. Land Tenure and the Adoption of Agricultural Technology in Haiti. Presentación, 9th Biennial Conference of the International Association for the Study of Common Property [Victoria Falls, Zimbabwe, 17-21 jun. 2002].
- Sprenkle, SD. 2006. Community-Based Forestry in Haiti: Overcoming Extreme Erosion and Poverty. White Paper. Deschappelles, Haiti and Pittsburgh, Pennsylvania, Friends of Hôpital Albert Schweitzer Haiti, Haiti Timber Re-Introduction Project.
- Tarter, A. 2010. Thirty Years After a Tree-Planting Project: A Political Ecology Perspective on Behavior and Land Changes in Rural Haiti. Tesis MS. Gainesville, Florida, USA, University of Florida. 165 p.
- Timyan, J. 1996. BWA YO: Important Trees of Haiti. South-East Consortium for International Development, under USAID Contract No. 521-0217-C-0004-00.
- Vilna, J. marzo 2013. Comunicación personal (Sr. Vilna es un agricultor y agrónomo en Verrettes en el Valle de Artibonite, Haití).
- White, TA; Jickling, JL. 1995. Peasants, experts, and land use in Haiti: Lessons from indigenous and project technology. *Journal of Soil and Water Conservation* 50(1):7-14.



Capítulo 10

EL CONOCIMIENTO LOCAL EN LA SELECCIÓN DE ESPECIES LEÑOSAS PARA LA RESTAURACIÓN DEL BOSQUE TROPICAL SECO DE PASO DE OVEJAS, VERACRUZ, MÉXICO¹

Alfonso Suárez Islas², Guadalupe Williams Linera³, Heike Vibrans Lindemann⁴,
Juan Ignacio Valdez Hernández⁵, Víctor Cetina Alcalá⁵, Carlos Trejo López⁴

² Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,
Rancho Universitario, AP 32, CP 43600, Tulancingo, Hidalgo, México.

Teléfono: 52 771 717 2000 Ext. 4640. Correo electrónico: alf.suar.is@gmail.com

³ Departamento de Ecología Funcional, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz, México.

⁴ Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.

⁵ Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.

RESUMEN

Con el objetivo de seleccionar especies leñosas nativas para la restauración del bosque tropical seco de la parte central de Veracruz, México, se estudió el conocimiento local sobre su utilidad, escasez e importancia para la fauna silvestre. La información se obtuvo a partir de talleres participativos, entrevistas y recorridos de campo con informantes clave y recolectas botánicas. El análisis incluyó el cálculo de índices de importancia cultural, percepción de escasez e importancia para la fauna silvestre. Se documentaron 76 especies de bosque primario, vegetación secundaria, sistemas agroforestales y vegetación riparia. La familia Fabaceae fue la más importante. Todas las especies fueron útiles, principalmente en la construcción rural, como alimento, postes para cercas y combustible. Las especies consideradas como escasas constituyeron dos tercios del total. Asimismo, dos terceras partes de los taxa fueron estimados claves para la fauna silvestre, especialmente de la familia Moraceae. Las especies más importantes seleccionadas se sugieren para fomentar en sistemas silvopastoriles (*Lysiloma acapulcense*, *Ficus cotinifolia*, *Diphysa carthagenensis*, *Chloroleucon mangense*, *Maclura tinctoria*, *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena lanceolata*, *Lysiloma divaricatum*, *Caesalpinia cacalaco* y *Gliricidia sepium*) y agroforestales (*Calypttrantes shiedeana*, *Ehretia tinifolia*, *Spondias purpurea* y *Wimmeria pubescens*); así como en plantaciones de enriquecimiento en bosques degradados (*Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea* y *Tabebuia chrysantha*).

¹ Este capítulo forma parte de la tesis del primer autor: Suárez Islas, A. 2011. *Identificación de especies leñosas nativas promisorias para la restauración de la selva baja caducifolia del centro de Veracruz*. Tesis PhD. Colegio de Post graduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 77 p.



1. INTRODUCCIÓN

El bosque tropical seco (BTS) de la zona central del Estado de Veracruz, México es una de las áreas aisladas de este tipo de vegetación en la vertiente del Golfo de México (Rzedowski 1978). Destaca por su diversidad estructural y florística, presencia de endemismos y especies amenazadas (Williams-Linera y Lorea 2009). También es prioritaria para la conservación como parte del corredor biológico de aves rapaces (Arriaga et al. 2000) y como una de las áreas más ricas de México en herpetofauna (Flores-Villela 1993). Las actividades agropecuarias y los asentamientos humanos han fragmentado y degradado el BTS, remplazándolo por comunidades secundarias y matorrales (Rzedowski 1978). Se ha estimado una pérdida en la cobertura de este tipo de bosques entre los años 1973 al 2008 del 11,3% al 6,6% (Rey Benayas et al. 2011). Sin embargo, en el municipio de Paso de Ovejas se han localizado fragmentos importantes de bosque para su conservación y restauración y que además, están asociados a sitios de relevancia histórica y arquitectónica, con un potencial de aprovechamiento para el turismo cultural y natural (Williams-Linera y Álvarez-Aquino 2010).

En los últimos diez años, el gobierno estatal ha promovido la reforestación en la zona, basada en especies maderables comerciales como *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea*, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. y *Tectona grandis* L.F., las tres últimas introducidas. Sin embargo, el uso de pocas especies contrasta con la gran riqueza florística de leñosas, tanto en los fragmentos remanentes de bosque como en la vegetación secundaria (Williams-Linera y Lorea 2009) y en los sistemas agroforestales (Bautista-Tolentino et al. 2011). Además, las leñosas nativas brindan múltiples beneficios a la población local como alimentos, combustible, y madera para construcción (Couttolenc-Brenis et al. 2005).

Incluir más especies nativas en una estrategia de restauración del BTS, como la que promueven diversas instituciones gubernamentales y académicas, a través del enriquecimiento biológico y económico de sistemas agroforestales y silvopastoriles, es una oportunidad para aprovechar y conservar la diversidad de especies leñosas en beneficio de la población local. El presente trabajo tuvo como objetivo seleccionar especies leñosas para la restauración del BTS de Paso de Ovejas, Veracruz, con base en el conocimiento local. El estudio formó parte de un proyecto colaborativo internacional denominado ReForLan, enfocado en la restauración de paisajes forestales en tierras secas de América Latina para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo rural (Newton 2008).

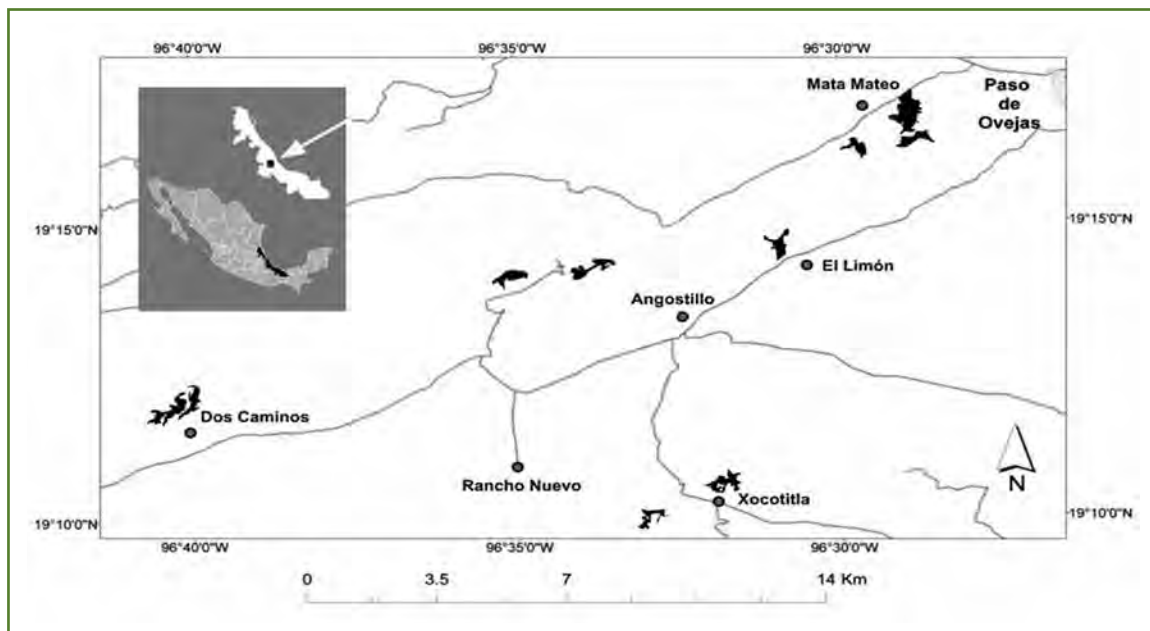


2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio se desarrolló en el Estado de Veracruz, México, en seis comunidades rurales de los municipios de Paso de Ovejas y Comapa, localizadas entre los 19°10' a 19°18' de latitud norte y los 96°25' a 96°40' de longitud oeste (Figura 1). El relieve predominante es de lomeríos, divididos en dirección SO a NE por la barranca del río Atliyac, con un gradiente altitudinal de 40 m a 480 m sobre el nivel del mar. El clima es cálido subhúmedo, con una larga estación seca de 7 a 8 meses y un verano lluvioso, entre junio y octubre. La lluvia anual es de 973 mm y la temperatura promedio anual es de 24,8°C (CNA 2008). El tipo de vegetación era el BTS (Medina y Castillo-Campos 1993), pero actualmente los usos del suelo predominantes son potreros, áreas cultivadas y vegetación secundaria.

Las actividades económicas principales en las comunidades son la agricultura y la ganadería. Los cultivos principales son maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y papaya (*Carica papaya* L.), pero se siembra también sorgo escobero (*Sorghum* sp.) y chile (*Capsicum* sp.), y hay pequeñas plantaciones de mango (*Mangifera indica* L.) y tamarindo (*Tamarindus indica* L.; Gallardo-López et al. 2002). Se cría ganado bovino (*Bos taurus* × *Bos indicus*) de doble propósito en pastoreo extensivo, donde predominan los pastos introducidos *Panicum maximum* Jacq. e *Hypharrena rufa* (Nees) Stapf. Los terrenos son manejados como sistemas agrosilvopastoriles (maíz, leñosas y ganado bovino) y silvopastoriles (leñosas, pastos y ganado bovino; Bautista-Tolentino et al. 2011).



234 Figura 1. Localización del área de estudio en la zona central del Estado de Veracruz, México. Las seis comunidades estudiadas se indican con círculos cercanos a los polígonos oscuros, los cuales representan fragmentos de BTS. Las líneas de color gris representan caminos de acceso a las comunidades.

2.2 Talleres cortos en comunidades rurales

Se seleccionaron seis comunidades rurales, cercanas a fragmentos de bosque, donde los campesinos hacen un mayor uso de los recursos forestales y tienen más conocimiento de los árboles (Leyva-Báez 2006). En los talleres cortos participaron 95 personas, 80% hombres y 20% mujeres. Cada taller consistió en una breve presentación de la investigación y las definiciones sobre los conceptos que se preguntarían, seguida por un sondeo del conocimiento de los asistentes sobre las especies leñosas nativas a través de la técnica participativa de lluvia de ideas (Geilfus 1998). Se presentaron tres preguntas, escritas en hojas de rotafolio: ¿Qué árboles nativos son útiles?, ¿Qué árboles nativos son raros o escasos? y ¿Qué árboles nativos son buenos para la fauna silvestre?. Para cada pregunta se proporcionó a los participantes una tarjeta. En ella escribieron su nombre, edad y en seguida los nombres locales de las especies correspondientes a la pregunta. Se identificó a las personas que anotaron más o nuevos nombres de árboles que no aparecieron en los talleres anteriores, se les consideró preliminarmente como informantes clave y se les solicitó su colaboración para reconocer en el campo a las especies mencionadas.

2.3 Recorridos de campo y recolección de ejemplares botánicos

Con los informantes clave se realizaron recorridos de campo para localizar las especies de interés. Se recolectaron muestras botánicas y se herborizaron, además se tomaron fotografías digitales. La identificación de los especímenes recolectados fue hecha por el autor principal por medio de claves dicotómicas en literatura especializada, y algunos especímenes fueron identificados por especialistas del herbario del Instituto de Ecología AC en Xalapa, Veracruz, México (XAL). La asignación de los géneros a las familias botánicas fue conforme a Angiosperm Phylogeny Group (2003). Durante el recorrido se hizo una entrevista semiestructurada al informante sobre aspectos de uso, manejo y ecología de las especies.

2.4 Análisis de la información

La información obtenida en los talleres se codificó y procesó en hojas de cálculo Microsoft Excel. El análisis se enfocó a las especies leñosas nativas, pero también incluyó formas arbustivas y arborescentes de las familias Cactaceae y Agavaceae. Se excluyó a especies cultivadas en los huertos caseros, como frutales y maderables introducidos. Se agruparon las plantas encontradas usando las categorías de “útiles,” “escasas,” y “con valor para la fauna silvestre”. Para cada especie leñosa se calcularon, respectivamente, un Índice de Importancia Cultural (IIC), un Índice de Percepción sobre Escasez de la Especie (IPE) y un Índice de percepción de Valor para Fauna silvestre (IVF), cada uno de estos índices en escala de porcentaje, de tal manera que la suma de todas las especies leñosas en una categoría es de 100 (Suárez et al. 2012). Este índice fue construido tomando como base el método cuantitativo empleado por Figueroa-Solano (2000), para identificar especies arbóreas útiles a partir de entrevistas.

El IIC refleja la contribución de las variables: número de menciones (NM), para todos los usos y en todos los talleres; frecuencia de mención en la región (FR) por el número de talleres en los que

la especie fue mencionada; número de usos (NU) y valor de uso (VU). Estas dos últimas variables se calcularon a partir de información obtenida de los informantes clave, el VU fue asignado por el primer autor con base en las observaciones de campo durante las entrevistas y de acuerdo con la siguiente escala: uno (baja), dos (media) y tres (alta).

$$\text{IIC} = (\text{NM} + \text{FR} + \text{NU} + \text{VU}) / 4$$

El IPE fue calculado para cada especie leñosa y está integrado por las variables: número de menciones (NM) en la categoría de escasez y frecuencia de mención a nivel regional (FR), por el número de talleres donde la especie fue mencionada como escasa.

$$\text{IPE} = (\text{NM} + \text{FR}) / 2$$

El IVF refleja el conocimiento local sobre la importancia de las especies leñosas para los animales silvestres. Está integrado por las variables: número de menciones de la leñosa (NM), para todas las especies de fauna silvestre y en todos los talleres; frecuencia de mención en la región (FR) por el número de talleres en los que la leñosa fue mencionada; número de especies de fauna silvestre que usan la leñosa (NF); y el valor de uso (VU) en una escala de uno, si es usada como hábitat o alimento y dos, si es usada para ambos.

$$\text{IVF} = (\text{NM} + \text{FR} + \text{NU} + \text{VU}) / 4$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El total de especies leñosas documentadas fue de 76, localizadas en bosques primarios, secundarios y de galería, así como en sistemas agroforestales y silvopastoriles. Se encontró un total de 29 familias botánicas. La familia Fabaceae fue la más numerosa con 18 especies, seguida de Bignonaceae y Malvaceae con 5 especies cada una (Cuadro 1).

La riqueza de especies leñosas registradas en este trabajo complementó los inventarios de vegetación leñosa de otros estudios efectuados en la misma zona. En diez fragmentos de bosque maduro Williams-Linera y Lorea (2009) inventariaron 98 especies. Unas 39 especies (40%) son compartidas entre ambos estudios, mientras que otras 37 mencionadas aquí no fueron inventariadas por dichos autores. Por otra parte, en tres áreas de vegetación secundaria Hernández (2008) encontró 33 especies; unas 17 especies (52%) fueron comunes a este estudio. En sistemas agroforestales de la comunidad El Limón, Bautista-Tolentino et al. (2011) inventariaron 63 especies nativas; el 82% son compartidas con el presente estudio.



Raíces de *Bursera cinerea*, especie endémica del bosque tropical seco del centro de Veracruz, México. Foto: Alfonso Suárez Islas.

Cuadro 1. Especies leñosas más importantes de las categorías útiles (IIC), escasas (IPE) y con valor para la fauna silvestre (IVF). Las cifras están expresadas como porcentajes para cada índice, en negritas los diez de mayor valor.

Especie	Familia	Nombre común	IIC	IPE	IVF
<i>Acacia cochliacantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Fabaceae	espino blanco	2.9	3.0	1.2
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Moraceae	ojite	1.1	1.9	4.2
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae	nanche	1.4	1.8	2.8
<i>Caesalpinia cacalaco</i> Bonpl.	Fabaceae	tihuixtle	3.0	3.4	0.0
<i>Calyptanthus schiedeana</i> O. Berg	Myrtaceae	guayabillo	2.2	1.9	7.6
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	cedro	3.5	2.8	1.4
<i>Chloroleucon mangense</i> (Jacq.) Britton & Rose	Fabaceae	moreno	4.7	5.1	0.9
<i>Diphysa carthagenensis</i> Jacq.	Fabaceae	quiebracha	3.7	7.6	0.0
<i>Ehretia tinifolia</i> L.	Boraginaceae	frutillo	1.9	1.6	4.2
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Fabaceae	nacaxtle	2.8	2.8	3.6
<i>Ficus cotinifolia</i> Kunth	Moraceae	higuera de burro	1.5	2.4	8.3
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.	Fabaceae	cocuite	2.9	1.3	0.9
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae	guazamo	2.4	0.6	4.8
<i>Leucaena lanceolata</i> S. Watson	Fabaceae	guaje de indio	3.9	2.3	1.3
<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.	Fabaceae	guaje sabana	4.4	6.0	2.0
<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J.F. Macbr.	Fabaceae	tepeguaje	2.1	3.3	1.6
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.	Moraceae	moral	3.3	0.7	4.9
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	Sapotaceae	zapote chico	1.3	1.5	4.0
<i>Spondias purpurea</i> L.	Anacardiaceae	ciruela	1.8	0.0	4.6
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	Bignoniaceae	flor de día	3.8	2.2	1.4
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) A. DC.	Bignoniaceae	roble	2.4	3.7	1.4
<i>Wimmeria pubescens</i> Radlk.	Celastraceae	camarón	0.9	3.3	0.9
Otras 54 especies			42.0	40.5	38.2

3.1 Especies útiles

Todas las especies mencionadas fueron útiles, al menos para una categoría de uso. El número total de categorías de uso fue de 12. La de más especies fue la de construcción rural con 30 y con menos, la de maderable con 8. El número de especies de uso múltiple (con más de un uso) fue de 54 (71%). Las especies con mayor número de usos (6) fueron *Chloroleucon mangense*, *Leucaena lanceolata* y *Tabebuia chrysantha*.

El número de especies leñosas nativas útiles mencionadas en este estudio fue mayor que lo reportado en otros estudios para el Centro de Veracruz, con 21 especies mencionadas en el trabajo de Couttolenc-Brenis et al. (2005) en Camarón de Tejeda, 34 reportadas por Leyva-Báez (2006) para dos localidades de Paso de Ovejas y 63 por Bautista-Tolentino et al. (2011) para una localidad del mismo municipio.

Las tres especies de mayor importancia cultural (IIC) fueron *Chloroleucon mangense*, *Lysiloma acapulcense* y *Leucaena lanceolata*. Las diez especies con mayor IIC concentran el 36% de este índice. Sobresale también que siete de ellas son de la familia Fabaceae, la mayoría presentes en comunidades secundarias derivadas del BTS (Suárez et al. 2012). El uso principal de los árboles es como fuente de combustible, leña y, en menor medida, carbón. Las especies preferidas para este uso son *Acacia cochliacantha*, *Acacia pennatula*, *Diphysa carthagenensis* y *Leucaena lanceolata*.

Las especies de mayor importancia cultural están relacionadas con la ganadería y los sistemas silvopastoriles (Figura 2). Las especies de madera durable en la intemperie (*Chloroleucon mangense*, *Lysiloma acapulcense*, *Diphysa carthagenensis*, *Maclura tinctoria* y *Tabebuia crhyantha*) son muy valoradas, principalmente para postes de cercas y madera rolliza y/o escuadrada para la construcción de corrales, mangas y embarcaderos. Como forraje, son importantes los brotes tiernos de *Leucaena lanceolata*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, así como los frutos de la última especie y los de *Acacia cochliacantha*, *Acacia pennatula*, *Chloroleucon mangense*, *Caesalpinia cacalaco* y *Senna atomaria*. Como principales árboles de sombra, se mantienen de la regeneración natural *Lysiloma acapulcense*, *Maclura tinctoria*, *Ehretia tinifolia* y *Ficus cotinifolia*.



Figura 2. Los árboles de regeneración natural en los sistemas silvopastoriles de Paso de Ovejas, Veracruz, México son aprovechados como cercas vivas, fuente de madera para postes, para sombra del ganado *Maclura tinctoria* y como forraje *Guazuma ulmifolia*. Foto: A. Suárez Islas.

La calidad forrajera de la mayoría de las especies mencionadas en este trabajo es bien conocida y destaca la importancia del follaje y frutos como alimento de ruminantes durante la época seca (Carranza-Montaño et al. 2003, Cecconello et al. 2003, Román et al. 2004). El uso de las especies forrajeras en la alimentación bovina se mejora con técnicas como la cosecha, molienda y elaboración de raciones a base de frutos de leguminosas (Zamora et al. 2001); así como el control en las cargas animales y la rotación de los potreros arbolados (Bautista-Tolentino et al. 2011). La adopción de estas prácticas contribuiría a mejorar el manejo y conservación de *Enterolobium cyclocarpum* en los potreros, ya que los ganaderos

tienden a eliminar esta especie porque le atribuyen problemas de timpanismo en el ganado por el consumo de sus vainas.

La delimitación de propiedades y usos de suelo se hace con cercas de alambres de púas, sostenido principalmente con postes, pero también se aprovecha como cercas vivas los árboles de regeneración natural que quedan o nacen en las líneas de división. El uso de estacones para establecer cercas vivas es escaso, ya que el prendimiento es bajo y la mortalidad alta, principalmente con *Bursera simaruba* (L.) Sarg. y *Bursera cinerea* Engl. Algunos campesinos han establecido cercas vivas con *Caesalpinia cacalaco* y *Chloroleucon mangense* a partir de planta producida de semilla por ellos mismos, al parecer con mejores resultados.

238 Hay un potencial alto para mejorar el manejo de los sistemas agroforestales a través del fomento y conservación de árboles leguminosos. Especial atención merece *Lysiloma acapulcense*, ya que presenta problemas en su regeneración natural, por lo que es necesario mejorar el manejo del fuego para

proteger los árboles remanentes y reforestar con arbolitos procedentes de semilla local. Los sistemas agroforestales tradicionales juegan un papel importante en la conservación de germoplasma de especies valiosas para la población local, pero la densidad de árboles de interés debe ser adecuada a sus condiciones socioeconómicas y modos de vida (Quinsavi y Sokpon 2008).

Los campesinos pierden interés por conservar y manejar algunas especies cuando los usos tradicionales se pierden y se devalúan, como sucede con las hamacas de ixtle (*Agave* sp.) y las escobas de paja con palo de *Guazuma ulmifolia*. Debe estimularse y revalorarse el uso de la madera y fibras para muebles, artesanías y construcción. Gordon et al. (2003) consideran que la prohibición del aprovechamiento de ciertas especies o la pérdida de interés en su uso, podría llevar a los campesinos a dejar de fomentar su regeneración natural en sistemas agroforestales y poner en peligro su conservación.

3.2 Especies escasas

Se mencionaron 52 especies como escasas (68%), tanto en talleres cortos como en recorridos de campo. Las diez especies percibidas como más escasas por los campesinos, también fueron registradas con bajas poblaciones en fragmentos de bosque y parches de vegetación secundaria (Williams-Linera y Lorea 2009), aunque son especies frecuentes en sistemas agroforestales (Bautista-Tolentino et al. 2011). Cinco de estas especies forman parte del grupo de diez especies con mayor importancia cultural. La relación entre las especies percibidas como escasas y las de importancia cultural indica una alta presión de aprovechamiento sobre estas especies por la población local. En el sur de Honduras, Barrance et al. (2003) mencionan una situación similar, donde la sobreexplotación de unas pocas especies útiles ha ocasionado que sean consideradas ahora como muy escasas por los campesinos.

Las especies percibidas como más escasas fueron *Diphysa carthagenensis*, *Lysiloma acapulcense* y *Chloroleucon mangense*. *Diphysa carthagenensis* fue la especie percibida como más escasa, ya que se ha sobreexplotado para la obtención de leña y postes para cercas. En el caso de *Lysiloma acapulcense*, los campesinos mencionaron que los árboles aprovechables (DAP \geq 30 cm) cada vez son más escasos. Algunos campesinos que han intentado producir esta especie en vivero no han tenido éxito, debido a que la semilla sufre una fuerte depredación por insectos brúquidos.

Ninguna de las diez especies con mayor IPE se encuentra en la lista de Especies protegidas de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT 2010). En los talleres cortos fueron mencionadas como escasas *Astronium graveolens* Jacq. y *Tabebuia chrysantha*, catalogadas por esta norma como especies amenazadas y no endémicas, sin embargo no fue citada dentro de la categoría de escasa *Beaucarnea recurvata* Lem., amenazada y endémica según dicha norma. Otras especies mencionadas como escasas fueron *Bursera cinerea* y *Bursera simaruba*, las cuales son muy sensibles al fuego y a las sequías prolongadas. *Bursera cinerea* posiblemente fue una de las especies más abundantes del bosque tropical seco del centro de Veracruz (Rzedowski y Calderón de Rzedowski 1996) y es endémica de este estado (Castillo-Campos et al. 2005).

Debido a su escasez y utilidad, algunas especies pueden ser particularmente interesantes para promover, como *Randia monantha* Benth., cuyos frutos en tintura alcohólica (aguardiente) son usados como contraveneno de mordeduras de serpientes, picaduras de avispa, alacranes y arañas, tanto en personas como en animales domésticos (vacas, burros y perros). Algunos campesinos han trasplantado brinzales del bosque a sus solares, aunque ninguno refirió haber cosechado frutos. Dado que *Randia monantha* es una especie dioica sería importante fomentar el enriquecimiento de huertos caseros con esta especie, para incrementar la probabilidad de producción de frutos al incluir árboles machos y hembras.

Las especies escasas hacen una contribución clave a la biodiversidad de un ecosistema y sin ellas no se puede completar los esfuerzos de restauración (Lamb y Gilmour 2003). En este trabajo se evidenció la importancia de consultar a la población local sobre las especies escasas y aquéllas que son útiles y de relevancia para la fauna silvestre, pero también podría ser necesario conocer su dinámica y la historia de uso y disturbios antropogénicos, como se ha planteado en otros trabajos (Lykke et al. 2004).

3.3 Especies favorables para la fauna silvestre

Un total de 53 especies fueron mencionadas como valiosas para la fauna silvestre; esto es el 70% del total. Las percibidas como más valiosas fueron *Ficus cotinifolia*, *Calypttrantes schiedeana* y *Ehretia tinifolia*. El género *Ficus* es considerado clave en la selva, debido a que sustenta a frugívoros en periodos de escasez de frutos (Terborgh 1986). Un árbol de porte mediano con gran potencial para conservación de fauna es *Calypttrantes schiedeana*, endémico del Estado de Veracruz (Castillo-Campos et al. 2005).

Las diez especies con el mayor IVF concentraron el 49,4% de este índice, donde sobresalen las familias Moraceae y Sapotaceae con tres y dos especies, respectivamente (Suárez et al. 2012). Los campesinos mencionaron recurrentemente dos especies frutales introducidas, *Mangifera indica* y *Tamarindus indica*, como importantes recursos de hábitat y alimento para la fauna silvestre. Además del valor de las especies arbóreas en la conservación de la vida silvestre, indirectamente son importantes ya que unas 18 especies de fauna silvestre son usadas por la población local como alimento y/o medicina, sobre todo entre los estratos de menores recursos económicos (Leyva-Báez 2006). Las especies que sirven de alimento y hábitat a la iguana, conocida localmente como “tilcampo” (*Ctenosaura acanthura* Shaw, 1802) podrían ser importantes en programas de domesticación de esta especie. Esta iguana es una de las más utilizadas como alimento por los pobladores, es endémica del país y además está sujeta a protección especial por la NOM-059-ECOL-2010.

3.4 Especies seleccionadas para la restauración del bosque tropical seco

Las especies leñosas para la restauración del bosque tropical seco de Paso de Ovejas, Veracruz se seleccionaron a partir de los puntajes obtenidos en los índices: IIC, IPE e IVF. Se ordenaron de mayor a menor y se seleccionaron las especies con mayores puntajes que en conjunto contribuyeron con aproximadamente un tercio del valor acumulado en cada índice, estas especies se graficaron en un Diagrama de Venn (Figura 3). De esta manera, se reunieron 17 especies, todas ellas útiles y de éstas, 16 escasas y 15 de importancia para la fauna silvestre. Destacó la familia Fabaceae con siete especies, en las categorías de útiles y escasas.

Las diecisiete especies seleccionadas mediante este método constituyen el eje principal para enfocar la restauración del bosque tropical seco de Paso de Ovejas, Veracruz. Todas las especies seleccionadas son de interés para la población local por su uso y además son manejadas en sistemas agroforestales y silvopastoriles, por lo tanto una estrategia para la restauración del bosque tropical seco puede ser abordada a través de la conservación y fomento de especies leñosas en este tipo de sistemas de manejo de la tierra.

Especies leguminosas como: *Chloroleucon mangense*, *Lysiloma acapulcense*, *Diphysa carthagenensis*, *Gliricidia sepium*, *Caesalpinia cacalaco*, *Leucaena lanceolata*, y *Lysiloma divaricatum*; además de *Guazuma ulmifolia* son componentes valiosas para promover en sistemas silvopastoriles como cercas vivas y árboles forrajeros. Para dar sombra al ganado se recomienda especies con copa

amplia y follaje casi permanente a lo largo del año como: *Ficus cotinifolia*, *Ehretia tinifolia* y *Maclura tinctoria*. Éstas últimas además son importantes como fuentes de alimentación de la fauna silvestre.

Especies con maderas preciosas como *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea* y *Tabebuia chrysantha*, son potenciales para el enriquecimiento de bosques secundarios o para plantar en forma de linderos maderables. Mientras que especies frutales y/o medicinales como: *Spondias purpurea*, *Calyptantes shiedeana* y *Wimmeria pubescens* son claves para fomentar en huertos caseros.

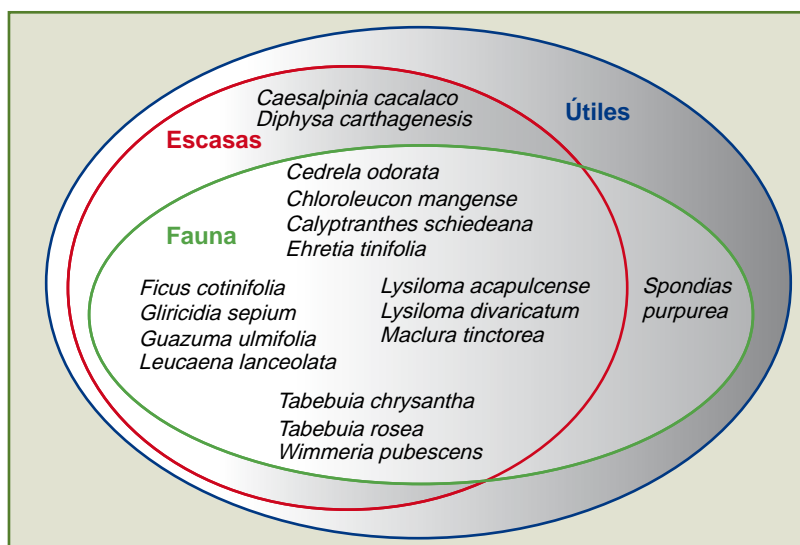


Figura 3. Especies leñosas seleccionadas a partir del conocimiento local para la restauración del BTS de Paso de Ovejas, Veracruz, México.

4. CONCLUSIONES

Se documentaron 76 especies leñosas, todas útiles, de éstas 52 se consideraron escasas (68%) y 53 especies valiosas (70%) para la fauna silvestre.

Se seleccionaron 17 especies leñosas para la restauración del bosque seco de Paso de Ovejas, Veracruz. En orden de mayor a menor importancia, sumando los puntajes de las categorías útiles, escasas y para fauna silvestre: *Lysiloma acapulcense*, *Ficus cotinifolia*, *Calyptantes shiedeana*, *Diphysa carthagensis*, *Chloroleucon mangense*, *Maclura tinctoria*, *Guazuma ulmifolia*, *Ehretia tinifolia*, *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea*, *Leucaena lanceolata*, *Tabebuia chrysantha*, *Lysiloma divaricatum*, *Caesalpinia cacalaco*, *Spondias purpurea*, *Gliricidia sepium* y *Wimmeria pubescens*.

Los resultados proveen información útil para la formulación e implementación de alternativas sustentables de manejo para la conservación y restauración del BTS de Paso de Ovejas, Veracruz, especialmente mediante sistemas agroforestales y silvopastoriles.

El método propuesto en este estudio puede tener aplicación en otras regiones en la selección preliminar de especies leñosas para la restauración de bosques, en los casos en que no hay o es escasa la información documentada sobre la vegetación y el ecosistema en general.

Agradecimientos

Agradecemos a lo(a)s campesino(a)s de las comunidades de los municipios de Paso de Ovejas y Coapa, Veracruz que participaron en los talleres y recorridos de campo por compartir sus conocimientos y experiencias en el uso y manejo de árboles nativos de esta zona. Al Doctor Francisco Lorea y a la bióloga Claudia Gallardo del herbario XAL por la identificación de algunas especies, así como al Biólogo Oscar Ponce e Ingeniero Victor Carreto por su ayuda en los talleres. A los(a)s revisore(a)s anónimo(a)s que con sus observaciones contribuyeron a mejorar este trabajo. Esta investigación contó con el apoyo financiero de CONACYT, a través de una beca de doctorado al autor principal (no. 208226), y como parte del proyecto ReForLan (INCO Project CT2006-032132) de la Comunidad Europea.

BIBLIOGRAFÍA

- Angiosperm Phylogeny Group. 2003. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141:399-436.
- Arriaga, L; Espinoza, JM; Aguilar, C; Martínez, E; Gómez, L; Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Barrance, A; Flores, L; Padilla, E; Gordon, J; Schreckenberg, K. 2003. Trees and farming in the dry zone of southern Honduras I: Campesino tree husbandry practices. *Agroforestry Systems* 59:97-106.
- Bautista-Tolentino, M; López-Ortíz, S; Pérez-Hernández, P; Vargas-Mendoza, M; Gallardo-López, F; Gómez-Merino, FC. 2011. Sistemas agro y silvopastoriles en El Limón, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:63-76.
- Carranza-Montaño, MA; Sánchez-Velásquez, LR; Pineda-López, MR; Cuevas-Guzmán, R. 2003. Forage quality and potential of species from the Sierra de Manantlán (México) tropical dry forest. *Agrociencia* 37:203-210.
- Castillo-Campos, G; Medina-Abreo, ME; Dávila-Aranda, PD; Zabala-Hurtado, JA. 2005. Contribución al conocimiento del endemismo de la flora vascular en Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana* 73:19-57.
- Cecconello, G; Benezra, M; Obispo, NE. 2003. Composición química y degradabilidad ruminal de los frutos de algunas especies forrajeras leñosas de un bosque seco tropical. *Zootecnia Tropical* 21(2):149-165.
- CNA. 2008. Normales climatológicas (en línea). Servicio Meteorológico Nacional. México, D.F. Disponible En: <http://smn.cna.gob.mx/>
- Couttolenc-Brenis, E; Cruz-Rodríguez, JA; Cedillo, E; Musálem, MA. 2005. Uso local y potencial de las especies arbóreas en Camarón de Tejada, Veracruz. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Ambiente* 11(1):45-50.
- Figuroa-Solano, ME. 2000. Uso agroecológico, actual y potencial de especies arbóreas en una selva baja caducifolia perturbada del suroeste del estado de México. Tesis MS. Texcoco, México, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
- Flores-Villela, O. 1993. Herpetofauna de México: distribución y endemismo. Pp 251-279 En: Ramamoorthy, TP; Bye, R; Lot, A; Fa, J. (Eds.). *Diversidad biológica de México, orígenes y distribución*. México, D.F., Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México
- Gallardo-López, F; Riestra-Díaz, D; Aluja-Schunemann, A; Martínez-Dávila, JP. 2002. Factores que determinan la diversidad agrícola y los propósitos de producción en los agroecosistemas del Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36(4):495-502.
- Geilfus, F. 1998. 80 herramientas para el desarrollo participativo. San Salvador, El Salvador, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) – Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Gordon, JE; Hawthorne, WD; Sandoval, G; Barrance AJ. 2003. Trees and farming in the dry zone of southern Honduras II: the potential for tree diversity conservation. *Agroforestry Systems* 59:107-117.
- 242 Hernández, E. 2008. Biodiversidad y sucesión secundaria en el bosque tropical seco del centro de Veracruz, México. Tesis Lic. Puebla, México, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
-

- Lamb, D; Gilmour, D. 2003. Rehabilitation and restoration of degraded forests. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, IUCN-WWF.
- Leyva-Báez, V. 2006. Uso, extracción y manejo de los acahuales de la selva baja caducifolia en las localidades Acazónica y Paso de Ovejas de la zona sotavento del estado de Veracruz. Tesis MS. Veracruz, México, Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.
- Lykke, AM; Kristensen, MK; Ganaba, S. 2004. Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel. *Biodiversity and Conservation* 13:1961-1990.
- Medina, ME; Castillo-Campos, G. 1993. Vegetación y listado florístico de la Barranca de Acazónica, Veracruz, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 57:73-111.
- Newton, AC. 2008. Restoration of dryland forests in Latin America: The ReForLan Project. *Ecological Restoration* 26(1):10-13.
- Quinsavi, C; Sokpon, N. 2008. Traditional agroforestry systems as tools for conservation of genetic resources of *Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg in Benin. *Agroforestry Systems* 74:17-26.
- Rey Benayas, JM; Cristóbal, L; Kitzberger, T; Manson, R; López-Barrera, F; Schulz, J; Vaca, R; Cayuela, L; Rivera, R; Malizia, L; Golicher, D; Echeverría, C; del Castillo, R; Salas, J. 2011. Assessing the current extent and recent loss of dryland forest ecosystems. Pp. 23-64. *In*: Newton, AC; Tejedor, N. (Eds.). *Principles and Practice of Forest Landscape Restoration: Case studies from the drylands of Latin America*. Gland, Switzerland, IUCN. 412 p.
- Román, ML; Mora-Santacruz, A; Gallegos-Rodríguez, A. 2004. Especies arbóreas de la costa de Jalisco, México, utilizadas como forraje en sistemas silvopastoriles. *Scientia-CUCBA* 6(1-2):3-11.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. México, D.F., Limusa.
- Rzedowski, J; Calderón de Rzedowski, G. 1996. Nota sobre *Bursera cinerea* Engl. (Burseraceae) en el Estado de Veracruz. *Acta Botánica Mexicana* 37:33-38.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. México, D.F., Diario Oficial de la Federación.
- Suárez Islas, A. 2011. Identificación de especies leñosas nativas promisorias para la restauración de la selva baja caducifolia del centro de Veracruz. Tesis PhD. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 77 p.
- Suárez, A; Williams-Linera, G; Trejo, C; Valdez-Hernández, JI; Cetina-Alcalá, VM; Vibrans, H. 2012. Local knowledge helps select species for forest restoration in a tropical dry forest of central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 85:35-55.
- Terborgh, J. 1986. Keystone plant resources in the tropical forest. Pp 330-344 *In*: Soule, ME (Ed.). *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sunderland MA. Sinauer.
- Williams-Linera, G; Lorea, F. 2009. Tree species diversity driven by environmental and anthropogenic factors in tropical dry forest fragments of central Veracruz, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 18:3269-3293.
- Williams-Linera, G; Alvarez-Aquino, C. 2010. Tropical dry forest landscape restoration in Central Veracruz, Mexico. *Ecological Restoration* 28(3):259-261.
- Zamora, S; García, J; Bonilla, G; Aguilar, H; Harvey CA, Ibrahim, M. 2001. ¿Cómo utilizar los frutos de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), genízaro (*Pithecellobium saman*) y jícaro (*Crescentia alata*) en alimentación animal?. *Agroforestería en las Américas* 8(31):45-49.



Capítulo 11

PRODUCTIVIDAD GLOBAL Y DIVERSIDAD DE HERBÁCEAS EN SISTEMAS SILVOPASTORILES DE *Pinus elliottii* ENGELM. CON PASTIZAL NATURAL EN LA ZONA SERRANA SUB-HÚMEDA DEL CENTRO DE ARGENTINA

Graciela E. Verzino¹, Jacqueline Joseau¹, Roberto Hernández², José L. Indarte²,
Sandra Rodríguez Reartes¹, Luis E. Luque³

¹ Silvicultura, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC).

Ing. Agr. Félix Aldo Marrone 746, Ciudad Universitaria.

Teléfono: 0351- 4334105. Int. 412. Correo electrónico: gverzino@agro.unc.edu.ar

² Botánica Taxonómica, FCA-UNC.

³ Agrotecnia, FCA-UNC

RESUMEN

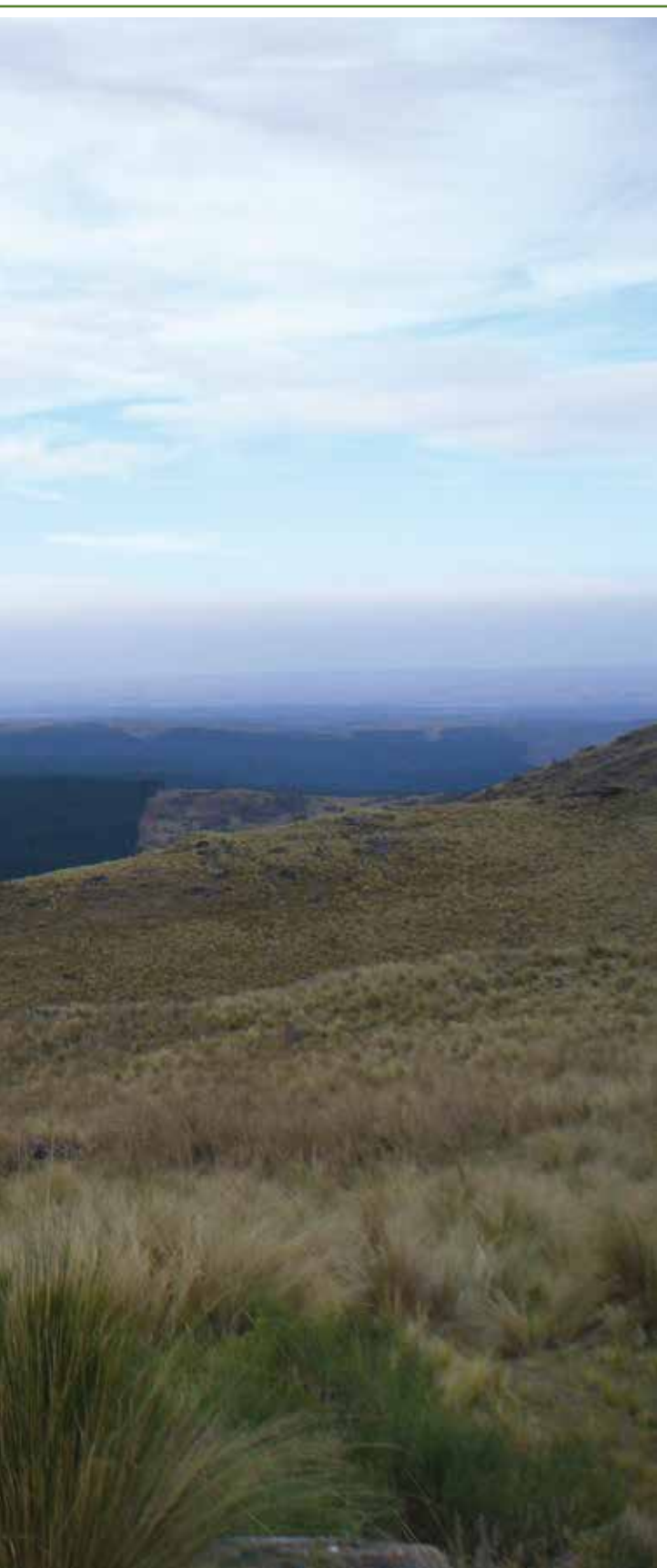
En el presente capítulo se abordan aspectos ecológicos y tecnológicos de los sistemas silvopastoriles de *Pinus elliottii* Engelm. con pastizal natural en la zona serrana sub-húmeda del centro de Argentina. Estos sistemas surgen en la región como una alternativa tendiente a acortar el retorno de la inversión forestal, aumentar la productividad global mediante la diversificación de los bienes y servicios producidos, conservar los recursos naturales de suelo y agua, y controlar el estrato herbáceo mediante el pastoreo del ganado, para facilitar la prevención de incendios forestales.

Se presentan resultados de un ensayo realizado en Río de los Sauces, ladera oriental de la Sierra de Comechingones, provincia de Córdoba. Se evaluó la productividad global del componente aprovechable (fitomasa aérea consumible por grandes herbívoros y biomasa del fuste) de sistemas silvopastoriles jóvenes de distinta densidad arbórea versus la de un sistema forestal y un pastizal puros. También se evaluó el impacto de los árboles sobre la productividad y diversidad del componente herbáceo.

La riqueza de herbáceas fue alta a los cuatro años del raleo, con 42 especies de Poaceae (ex. Gramineae), 58 especies de Magnoliidae (ex. Dicotyledoneae, especies de hoja ancha) y 4 helechos (Polypodiales). Hubo predominancia de especies mesotérmicas en todos los sistemas, destacándose *Festuca hieronymi* y especies de los géneros *Jarava* y *Nasella* (ex. *Stipa*), de baja aptitud forrajera. En menor proporción se encontraron poáceas de aptitud forrajera alta, como *Setaria fiebrigii*, *S. parviflora*, *Sporobolus indicus*, *Paspalum notatum* y *P. exaltatum*.

Se concluye que la productividad global de un sistema silvopastoril puede ser mayor que la productividad de los sistemas forestal y pastizal puros si se lo maneja adecuadamente. En esta región, la presencia del estrato arbóreo tiene un impacto negativo sobre la producción forrajera, razón por la cual para lograr un sistema silvopastoril equilibrado y sostenido en el tiempo se requiere un ajustado control de la densidad arbórea durante todo el turno forestal. Si se retrasan excesivamente los raleos se produce una explosión inicial de Magnoliidae que luego disminuyen y a la vez, se puede afectar en forma negativa la producción de forrajimasa, de tal manera que ésta tarda mucho en recuperarse, aún después de un raleo intenso.





1. INTRODUCCIÓN

Desde hace poco más de veinte años, en la ladera oriental de las Sierras Grandes y Sierra de Comechingones, provincia de Córdoba, comenzaron a implementarse sistemas silvopastoriles, que combinan el cultivo de pinos (principalmente *Pinus elliottii* Engelm. y *Pinus taeda* Linn) con pastizales naturales. Estos sistemas surgen en algunos establecimientos agropecuarios como una alternativa tendiente a acortar el tiempo de retorno de la inversión forestal, obteniendo productos rentables en más corto plazo, al aumentar la productividad global, mediante la diversificación de los bienes y servicios producidos (Krishnamurthy y Ávila 1999). Además, tienden a conservar los recursos naturales suelo y agua (Young 1989), y a controlar el estrato herbáceo mediante el pastoreo del ganado, lo que facilita la prevención de incendios forestales.

La implementación de sistemas agroforestales ha mostrado importantes ventajas ecológicas y socio-económicas en regiones tropicales y subtropicales húmedas (Krishnamurthy y Ávila 1999). En las zonas sub-húmedas templadas y templado-frías como las de este estudio, el conocimiento sobre su funcionamiento en términos ecológicos y productivos es aún incipiente.

En las Sierras de Córdoba, la productividad de plantaciones densas adultas de *P. elliottii* oscila entre los 15 y 25 m³ ha⁻¹ año⁻¹ (Cozzo 1995, Dorado et al. 1997) y la productividad de los pastizales puros oscila entre 1500 y 2500 kg de materia seca ha⁻¹ año⁻¹ (Verzino et al. 2005, 2007, 2009), pero, ¿cuál es, en general, la productividad en madera y pasto de los sistemas que combinan ambos componentes? y, ¿cómo varía esta productividad en función de la densidad arbórea? Las contribuciones al respecto son escasas (Valls 1993, Plevich et al. 2002). En el 2004, el equipo de investigación de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba comenzó estudios con el objeto de responder a estos interrogantes.

Las experiencias indican que los árboles disminuyen la disponibilidad de radiación para las plantas del sotobosque (Ong y Huxley 1996). En ambientes áridos tropicales y subtropicales esto se traduce en mejores condiciones para el pastizal, ya que los árboles y arbustos pueden tener un efecto facilitador sobre el estrato herbáceo (Barchuk y Carranza 2000, Carranza y Ledesma 2009). En ambientes tropicales húmedos, como la zona de Misiones y Corrientes, en Argentina, las plantaciones de pinos también han mostrado tener un efecto facilitador sobre especies forrajeras de amplia difusión como *Axonopus compressus* (Fassola et al. 2006), *A. catarinensis* (Fassola et al. 2005) y *Brachiaria brizantha* (Pantiu et al. 2012). Por otro lado, en los climas templados y templados fríos, la influencia de los árboles puede ser competitiva por la luz, el agua y los nutrientes, reduciendo la productividad del estrato herbáceo a medida que se incrementa la densidad y edad del dosel arbóreo (Fernández 2003, Verzino et al. 2007). El sombreado puede afectar negativa o positivamente tanto la calidad (Pearson et al. 1982) como el crecimiento de las pasturas (Wilson 1996). Por otra parte, en el caso de forestaciones con pinos, hay un impacto producido por la introducción de especies forestales exóticas sobre la diversidad biológica del pastizal (Plevich et al. 2002). Las observaciones del presente estudio permitieron conocer mejor la magnitud de este impacto para las condiciones de los sistemas evaluados.

Si bien, en líneas generales los sistemas silvopastoriles son más productivos que los monocultivos de árboles y pasto por separado, Ong y Huxley (1996) sostienen que “la productividad global (en biomasa) de un sistema agroforestal no necesariamente es mayor que la de un sistema forestal puro o un pastizal puro”. El presente capítulo aporta nueva información sobre el tema.

La racionalidad del sistema silvopastoril reside, entonces, en optimizar las interacciones positivas entre los árboles, las pasturas y el ambiente físico-biológico para alcanzar una productividad diversificada, rentable y perdurable (Krishnamurthy y Ávila 1999).

En la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos generales:

1. Estimar la productividad global de sistemas silvopastoriles de *Pinus elliottii* Engelm. con pastura natural en la región sur de las Sierras de Córdoba.
2. Evaluar el impacto producido por distintas densidades del estrato arbóreo introducido sobre la productividad y diversidad del componente herbáceo.
3. Establecer pautas preliminares de manejo de la densidad arbórea para optimizar la producción de pasto.

Estos objetivos fueron establecidos para demostrar las siguientes hipótesis de trabajo:

1. La productividad global del componente aprovechable (medida en términos de fitomasa aérea consumible por grandes herbívoros y biomasa del fuste) de un sistema silvopastoril joven de *Pinus elliottii* con pastizal natural en el sur de las Sierras de Córdoba es mayor que la productividad de los sistemas forestal y pastizal puros bajo las pautas de manejo actualmente aplicadas.

2. La cobertura de *Pinus elliottii* afecta la diversidad y mejora la condición del pastizal en términos de riqueza y abundancia de especies preferidas por el ganado.

Los pinos, en relativamente bajas densidades, si bien inducen una reducción en la producción total de forrajimasa por unidad de superficie y tiempo, debido a menores tasas de fotosíntesis de las especies herbáceas (Ong y Huxley 1996), por otro lado también aumentan la proporción de otras especies preferidas por el ganado.

3. La producción de pasto y la composición específica del mismo están condicionadas, entre otros factores, por la densidad arbórea y, más precisamente, por el momento en que se realicen los raleos, siendo mayor cuanto antes se reduzca la densidad inicial de plantación.

Como hipótesis síntesis de las tres precedentes se planteó que:

El sistema silvopastoril combinando *Pinus elliottii* Engelm. y pasturas naturales en proporciones adecuadas es una alternativa tecnológicamente sustentable en la zona serrana subhúmeda del centro de Argentina.

2. MÉTODOS

2.1. Breve descripción ecológica y socio-económica de la región

2.1.1 Geomorfología

La zona con aptitud para la implementación de sistemas silvopastoriles con pinos forma parte de las que, en líneas generales, se denominan “Sierras Pampeanas de Córdoba,” que se describen como una serie de cordones que corresponden a bloques de falla, separados por valles longitudinales. La región se extiende desde los 31°20’ hasta los 33°20’ de latitud Sur. El basculamiento hacia el Este de los bloques mayores del antiguo macizo produjo la morfología asimétrica que caracteriza al sistema serrano, con laderas orientales tendidas y occidentales escarpadas. Los materiales constitutivos más importantes son rocas graníticas, metamórficas y sedimentarias, incluyendo algunas formas volcánicas. En las zonas con relieves más abruptos, especialmente en la ladera occidental de las sierras, los suelos están muy poco desarrollados. Por el contrario, en la ladera oriental, con relieve más suave, los suelos son más profundos e intensamente meteorizados (Gorgas y Tassile 2003).

2.1.2 Suelos

Por tratarse de una zona serrana que ofrece situaciones muy diversas, existe una gama enorme de posibilidades para que los agentes edafogénicos (relieve, clima, material originario, agentes bióticos, edad) actúen generando suelos muy diferentes como consecuencia de sus combinaciones y de la importancia relativa de cada uno de ellos (Pachecoy et al. 1988, 1990). Los órdenes de suelos más extendidos son los Entisoles y los Molisoles. Los primeros, caracterizados por poseer nulo o escaso desarrollo de horizontes pedogénicos, son relativamente pobres en materia orgánica. Los segundos, con suelos de colores oscuros, desarrollados bajo cobertura vegetal mayormente gramínea, ricos en materia orgánica, bien estructurados en superficie, facilitan el movimiento del agua y del aire, con dominancia de calcio en el complejo de intercambio (Gorgas y Tassile 2003).

La textura de los suelos va desde los franco-arenosos a arenosos, con presencia de arena gruesa, gravilla y grava. En las pequeñas cañadas se observa un incremento en el contenido de materia orgánica y un mayor contenido de humedad. Se encuentran también suelos someros, muy pedregosos y suelos aluviales más profundos asociados a valles interserranos, susceptibles de erosión hídrica. Ante prácticas de manejo inadecuadas, se desencadenan fuertes procesos erosivos, con formación de cárcavas y arrastre de sedimentos por los ríos.

2.1.3 Clima

El clima de la región se clasifica como Templado Subhúmedo Serrano (Atlas Total 1981). Las sierras de Córdoba y San Luis provocan un aumento de las lluvias en sus faldeos mejor expuestos a los vientos atlánticos. Su altura modifica la temperatura y ambos factores dan lugar al clima serrano, frescas “islas húmedas,” variables según su orientación y altura, con fuertes contrastes entre sus laderas, tan acentuados en las Sierras de Córdoba y San Luis que éstas se comportan como verdadera barrera que separa los climas húmedos del oriente con los áridos del oeste.

En los niveles inferiores de las sierras las precipitaciones oscilan entre 600 y 700 mm al norte, y 800 a 900 mm al sur. A medida que se asciende en la montaña las precipitaciones aumentan hasta alcanzar, y a veces superar, los 1000 mm anuales. La ocurrencia de lluvias es marcadamente estacional, durante la estación cálida. En las zonas más altas se producen nevadas en el invierno.

2.1.4 Vegetación

Las variaciones en altitud determinan la presencia de “pisos” o cinturones de vegetación, cuya existencia, amplitud y elevación están condicionadas por la altitud total, la latitud y la exposición u orientación geográficas. Los pisos de vegetación son los siguientes (Luti et al. 1979):

Piso 1: Bosque Serrano. Comprende el piso de vegetación más conspicuo de nuestras montañas. El nivel inferior fluctúa desde 500 a 850 msnm y el superior desde 800 a 1300 msnm, y se caracteriza por un bosque generalmente abierto, denso en sitios favorables y ralo en los más severos.

Piso 2: Matorral Serrano. Se encuentra entre los 1.300 a 1.700 msnm, descendiendo inclusive hasta los 800 msnm en algunos sitios, constituyendo un extenso ecotono en el cual ocupa las áreas rocosas más expuestas, ventosas y secas.

Piso 3: Pastizales y bosquecillos de altura. Este piso se extiende por faldeos, cumbres y planicies elevadas de nuestras sierras por encima de los 1.100 msnm, descendiendo desde las mayores elevaciones hasta confundirse con el romerillal. Está caracterizado por un subpiso inferior con especies de los géneros *Nasella*, *Jarava*, *Stipa* y *Festuca*, formando los típicos “pajonales serranos”.

Entre los 800 y los 1.400 msnm de altura se extiende la región más apta para la forestación, que coincide principalmente con el romerillal y los pastizales de altura, por lo que no constituye amenaza alguna para la supervivencia del bosque nativo.

2.1.5 Aspectos socio-económicos

Con 3.066.000 habitantes, Córdoba es la segunda provincia en número de habitantes de la República Argentina y constituye un importantísimo mercado consumidor de productos madereros y no madereros derivados del bosque. Actualmente, los requerimientos de maderas blandas de la industria de segunda transformación y la construcción son cubiertos sólo parcialmente por las forestaciones locales de pinos.

Existe una amplia superficie con aptitud forestal (es decir, que no compite con la agricultura), que posee las condiciones ecológicas y de infraestructura necesarias para la implantación de especies forestales con fines productivos. Esta zona está ubicada principalmente en los departamentos de Calamuchita, Santa María y Río Cuarto, a lo largo de las Sierras Grandes, Chicas y de Comechingones.

El valle de Calamuchita, ubicado en el departamento del mismo nombre, concentra las forestaciones de *P. elliotii* y *P. taeda* más importantes del territorio de la provincia de Córdoba. Estas especies se destinan, principalmente, a aserraderos. En cuanto a la actividad agrícola-ganadera, el 42% de la superficie departamental está destinada a la ganadería, el 9% a la agricultura y el 5% a la actividad forestal y frutícola (UPSIIA 2009). Basada en una superficie forestada, que en el año 2000 era de 37.000 ha, se instaló una importante industria de primera transformación, que oscila entre 30 y 35 aserraderos (Morales 2010), los que actualmente ocupan unas 600 personas, entre personal de aserraderos, contratistas y transportistas.

Sin embargo, la superficie forestada ha disminuido sensiblemente en los últimos años. Según el periódico "La Voz del Interior," del 30 de abril de 2010, "entre 1993 y 2007 se perdieron, por distintos motivos, 13.000 ha de bosques cultivados, resultando en una superficie total que escasamente supera las 30.000 ha." Estas plantaciones representan una autonomía de sólo 11 años para la capacidad instalada de aserraderos, con las consiguientes dificultades de extracción y transporte en las zonas alejadas. Se hace indispensable seguir forestando para proveer materia prima a la industria instalada.

2.2. Diseño e instalación del estudio

2.2.1 Localización

El estudio se localizó en el establecimiento rural La Yunta, del Ingeniero Agrónomo Eduardo Valls, ubicado sobre la ladera oriental de la Sierra de Comechingones, al sur de las Sierras de Córdoba, a 1.300 msnm, a 32°28'S y 64°47'O (Figura 1).



Figura 1. *Pinus elliotii* en Establecimiento La Yunta, Río de los Sauces, Córdoba. Foto: G. Verzino.

2.2.2 Muestreo

Se seleccionó una plantación de *Pinus elliottii* Engelm., de 14 años y densidad aproximada 800 árb ha⁻¹, ubicada en un sitio considerado representativo, en términos de productividad, de una amplia zona del sur de las Sierras de Córdoba. Sobre la ladera SE, con una pendiente de 25% a 32%, se instalaron al azar nueve parcelas permanentes. Se ajustó mediante raleo selectivo la densidad de tres parcelas a 250 árb ha⁻¹ (sistema silvopastoril menos denso, Índice de densidad relativa [IDR]: 267, de aquí en adelante S₁), tres parcelas a 500 árb ha⁻¹ (sistema silvopastoril más denso, IDR: 464, S₂) y las restantes a 750 árb ha⁻¹ (sistema forestal puro, IDR: 657, S₃). Todas las parcelas comprendían 35 árboles y estaban separadas entre sí por pasillos de 5 m de ancho, como mínimo.

Al mismo tiempo, se instalaron tres parcelas de 35 árboles cada una en una plantación de *Pinus elliottii* Engelm., de 12 años y densidad aproximada 550 árb ha⁻¹, densidad alcanzada a los 7 años mediante un raleo a pérdida (IDR: 480, S₄; Figura2). Se podaron todos los árboles hasta 5 m de altura. Entre agosto y octubre de 2004 se cercaron las parcelas con alambrado de 5 hilos.



Figura 2. Pastizal natural bajo cubierta de *Pinus elliottii* en plantación de 12 años, de 550 árboles ha⁻¹. Foto: G. Verzino.

A los efectos de la comparación con los sistemas arbóreos, se seleccionó un pastizal puro (S₅), en una zona con igual altitud, exposición y pendiente que los sistemas arbóreos. Se instalaron tres parcelas de 15 m x 15 m de lado, cercadas con alambrado de 5 hilos.

Registros en las parcelas para calcular la productividad del componente forestal. En abril de 2004 se midió el diámetro (DAP) con cinta dendrométrica y la altura total (H) de todos los árboles de las parcelas con clinómetro. El volumen de cada árbol se estimó en función de su DAP y H utilizando la ecuación de volumen

ajustada por Andenmatten para las Sierras de Córdoba (Andenmatten et al. 2008, inédito). En mayo de 2005, 2006 y 2008 se midieron nuevamente DAP y H de los árboles, y se estimó su volumen. Se calculó el crecimiento corriente (CC) de los árboles por diferencia. Los datos de las tres parcelas de cada tratamiento se promediaron para calcular el CC por hectárea de los tres sistemas. Se calculó la densidad relativa del componente arbóreo mediante el índice de Reineke (Reineke 1933).

Registros en las parcelas para calcular la productividad del componente pastoril. Los registros comenzaron en abril de 2004 y continuaron hasta mayo de 2008, con una interrupción en el año 2007, en el que no se efectuaron mediciones. En forma concéntrica con las doce parcelas forestales se clausuraron doce parcelas cuadrangulares, de 225 m², para evitar la entrada del ganado. La superficie de cada clausura, así como el tamaño de la unidad de muestreo (unidad experimental) se ajustaron mediante un pre-muestreo del pastizal (Matteucci y Colma 1982).

Dentro de cada clausura se realizó un muestreo sistemático (Canfield 1941) mediante aros de hierro circulares de superficie 1 m². El muestreo se cumplió en las 15 clausuras (12 forestales y 3 pastizal) por lo menos dos veces al año (noviembre y marzo-mayo) para incluir tanto las especies invernales (C3) como las estivales (C4) y detectar cambios en respuesta a las condiciones ambientales y de los tratamientos. Se extrajeron 13 tomas equidistantes por parcela, 6 en una diagonal y 7 en la otra. El material se identificó hasta el máximo nivel taxonómico posible (Burkart 1969-1987, Cabrera 1963-1970, Zuloaga et al. 1994, 1999, 2009), se cortó a la altura del puño y se embolsó en bolsas de papel discriminando por especie en el caso de Liliidae (Monocotiledóneas). Luego se llevó a estufa a 60°C durante 48 h y posteriormente se pesó con balanza de precisión. Al finalizar cada toma de muestra se cortó a la altura del puño toda la vegetación herbácea de las 13 parcelas, con motoguadañadora a explosión, simulando el pastoreo.

Dentro de cada clausura se realizaron recorridos en zig-zag para detectar especies que no hubieran sido muestreadas por los aros. Todas las especies presentes fueron herborizadas y depositadas en el herbario ACOR, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

2.2.3 Análisis de datos

Cálculo de la productividad por sistema. La productividad de los sistemas para cada densidad arbórea analizada se calculó sumando el CC de los árboles, expresado en toneladas de madera seca ha⁻¹ año⁻¹, y la producción de forrajimasa, expresada en toneladas de materia seca ha⁻¹ año⁻¹. La productividad del S₅ (pastizal puro) fue la producción de forrajimasa en el mismo período.

Los valores de madera seca se obtuvieron por conversión de volumen a peso, en función del peso específico determinado para la especie en Córdoba (Dorado 2001). Teniendo en cuenta que no se efectuaron mediciones en el año 2007, para calcular el CC del último año se dividió por 2 el volumen estimado a partir de las mediciones del año 2008. Los valores de producción de pasto 2008 se calcularon como promedio de los años 2005, 2006 y 2008.

Los sistemas se compararon en términos de productividad mediante análisis de varianza y test de Tukey. Se determinó para el período 2005-2006 y 2007-2008 la participación en la producción de las principales especies herbáceas, expresada en kg ha⁻¹ y en porcentaje del total. Se agrupó la producción de forrajimasa en dos categorías, Poaceae (ex. Gramineae, especies de pastos) y Magnoliidae (ex. Dicotiledoneae, especies herbáceas de hoja ancha), con el objeto de evaluar la participación de cada una en la producción total por sistema y por cada año del estudio.

Mediante ANAVA y test de comparaciones múltiples de medias (prueba Di Rienzo, Guzmán y Casanoves [DGC]) se analizó la riqueza de especies en todos los sistemas, para evaluar la incidencia del raleo.



Ing. Verzino y Nidia Castillo midiendo parcela de SSP de *Pinus elliottii* Engelm. con pastizal natural en la zona serrana subhúmeda de la provincia de Córdoba en el centro de Argentina. Foto: G. Verzino.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Productividad total

El Cuadro 1 describe la evolución de la productividad total del componente aprovechable, discriminada en fitomasa aérea consumible por grandes herbívoros (producción de pasto) y biomasa del fuste (CC) en los años 2005, 2006 y 2008. La productividad total en el año 2008 fue mayor ($p < 0,05$) en S₄ (plantación de 12 años, IDR: 480), seguida por la productividad de S₂ (plantación de 14 años, IDR: 464) y S₃ (plantación de 14 años, IDR: 657), que no se diferenciaron entre sí. La menor productividad total fue la del pastizal puro (S₅). Estos resultados confirman la hipótesis de trabajo, ya que la productividad global del componente aprovechable del sistema silvopastoril de 12 años, IDR: 480, resulta mayor que la productividad de los sistemas forestal puro (plantación de 14 años, IDR: 657) y pastizal puro bajo las pautas de manejo actualmente aplicadas.

Cuadro 1. Productividad total medida en biomasa consumible por bovinos + biomasa del fuste, años 2005, 2006 y 2008. Los valores de producción de pasto en 2008 se calcularon como promedio de los años 2005-2006-2008, teniendo en cuenta que no se efectuaron mediciones en el año 2007. El volumen de crecimiento del fuste, calculado en el 2008, se dividió por 2 para obtener el CC del último año.

Año	2005			2006			2008		
Sistema	Prod. pasto (t ha ⁻¹)	CC (t ha ⁻¹)	Prod. total biomasa (t ha ⁻¹)	Prod. pasto (t ha ⁻¹)	CC (t ha ⁻¹)	Prod. total biomasa (t ha ⁻¹)	Prod. pasto (t ha ⁻¹)	CC (t ha ⁻¹)	Prod. total biomasa (t ha ⁻¹)
1	0,75	9,67	10,43	0,99	7,15	8,14	0,80a	6,41	7,21b
2	0,45	12,69	13,14	0,33	8,87	9,20	0,41b	8,99	9,41a
3	0,24	19,05	19,29	0,12	11,76	11,88	0,21b	9,11	9,31a
4	0,73	15,14	15,87	0,56	11,75	12,31	0,70a	11,70	12,39c
5	1,93		1,93	1,66		1,66	2,12c		2,12d

Referencias: Sistema 1: 250 plantas (pl.) ha⁻¹, Sistema 2: 500 pl. ha⁻¹, Sistema 3: 750 pl. ha⁻¹, Sistema 4: 550 pl. ha⁻¹, Sistema 5: Pastizal puro, CC: Crecimiento corriente en volumen.

Las letras a, b, c, d indican diferencias significativas entre los sistemas para las variables Producción de pasto y Producción total de biomasa del último año evaluado (2008).

3.2 Productividad en madera

Si se evalúa separadamente la productividad en madera es importante mencionar que los sistemas S₁, S₂ y S₃, de calidad genética media, tuvieron una densidad inicial de 1.110 plantas (pl.)ha⁻¹ y recibieron su primer raleo a los 14 años. El S₄, en cambio, de mejor calidad genética, fue plantado con la misma densidad, pero sometido a un raleo de intensidad 30% (a pérdida) a los 7 años. El mayor CC del S₄ en el año 2008 se atribuye principalmente a la mejor genética de la plantación.

La abrupta disminución en el CC en volumen registrada en el año 2006, en todos los sistemas, se estima que fue debido a las menores precipitaciones ocurridas en el período marzo 2005 - febrero 2006 (1.026 mm) respecto del período marzo 2004 - febrero 2005 (1.234 mm; Datos del Servicio Meteorológico Nacional para Río Cuarto).

3.3 Productividad forrajera

En cuanto a la producción de pasto, también se observó la incidencia de las menores precipitaciones sobre todos los sistemas en el período marzo 2005 - febrero 2006. Al cabo de 4 años de iniciado el ensayo, la mayor producción de pasto fue la de S₅, con 2,123 t ha⁻¹, seguida por S₁ y S₄, con 0,803 y 0,695 t ha⁻¹, respectivamente. La producción de pasto de S₂ y S₃ fue significativamente menor ($p < 0,05$). Estos resultados están en concordancia con observaciones anteriores efectuadas por el equipo de trabajo (Verzino et al. 2007) y por otros autores de regiones templado-frías (Fernández 2003) en el sentido de que la presencia de los árboles puede reducir significativamente la productividad del estrato herbáceo.

No obstante, es importante destacar que fue posible verificar la hipótesis que **la producción de pasto está condicionada por el momento en que se realicen los raleos, siendo mayor cuanto antes se reduzca la densidad inicial de plantación**. Así, el S₄, raleado a los 7 años, no se diferenció ($p < 0,05$), en producción de pasto del S₁, raleado a los 14 años, aunque la densidad de árboles de S₄ casi duplicaba a la de S₁ al momento de la medición de pasto (IDR: 480 vs. IDR: 267). Es evidente que el momento del raleo fue más determinante para la producción de pasto que la densidad final alcanzada con la corta. En otras palabras, en SSPs de estas características, un raleo aplicado tardíamente parece afectar en forma negativa la producción de pasto de tal manera que ésta tarda mucho en recuperarse aunque el raleo luego sea intenso. La densidad de la masa no puede descuidarse en ningún momento, ya que el raleo efectuado a los 7 años en el S₄, si bien contribuyó a lograr mayores valores productivos que a los 14 años, fue claramente insuficiente si se compara la producción con el S₅, sistema de pastizal puro (0,695 t ha⁻¹ vs. 2,123 t ha⁻¹). Es decir, deberían haberse aplicado más raleos para obtener una mayor productividad del pastizal.

En sus estudios sobre sistemas silvopastoriles con especies de *Pinus* en Misiones, Colcombet et al. (2009) y Lacorte et al. (2009) recomiendan densidades finales entre 250 y 80 pl. ha⁻¹ para obtener buena producción forrajera de especies tolerantes a la sombra como *Axonopus catarinensis* y *Brachiaria brizantha*. La tolerancia a la sombra de las especies del pastizal natural del sur de las Sierras de Córdoba es baja por lo que serían necesarias intervenciones frecuentes para reducir la cobertura arbórea hasta valores que compatibilicen la producción forestal con la del pastizal. En síntesis, la intensidad del raleo y el momento de aplicación de los mismos son aspectos que deberán profundizarse en futuros estudios para la obtención de una mayor productividad forrajera.

Si bien es de esperar que la producción de pasto sea menor en un SSP que en un pastizal puro por las características de las especies presentes, es importante determinar cuál es la combinación óptima de los dos componentes, árbol y pastizal, en cada momento de la vida del sistema, que permitirá la mayor productividad global. A efectos de visualizar la importancia relativa de cada especie y su evolución en el tiempo, se presenta el Cuadro 2, que discrimina por especies la productividad de los sistemas a los 2 y 4 años de efectuado el raleo (años 2006 y 2008, respectivamente).

Cuadro 2. Productividad de los cinco sistemas evaluados en los años 2006 y 2008, discriminada por especies y géneros principales. Todas las Magnólídeas (ex. Dicotililedóneas) se agruparon. Resaltadas en negrita las especies más abundantes en cada sistema.

Especie	Sistema 1				Sistema 2			
	Año 2006		Año 2008		Año 2006		Año 2008	
	Kg.ha ⁻¹	%	Kg.ha ⁻¹	%	Kg.ha ⁻¹	%	Kg.ha ⁻¹	%
<i>Agrostis montevidensis</i>			9,80	1,2				
<i>Botriochloa barbinodis</i>			17,05	2,1				
<i>Briza subaristata</i>	18,0	1,9	13,44	1,7	15,0	4,5	22,58	5,5
<i>Bromus catharticus</i>	4,0	0,4			1	0,3	0,55	0,1
<i>Calamagrostis</i> spp.			3,59	0,4			2,89	0,7
<i>Carex phalaroides</i>							0,51	0,1
<i>Cynodon</i> spp.	7,0	0,7						
Magnólídeas y otras	218,0	22,5	11,56	1,4	111,0	33,0	4,29	1
<i>Eragrostis</i> spp.	4,0	0,4	11,13	1,4	16,0	4,8	0,51	0,1
<i>Eustachys distichophylla</i>								
<i>Festuca hieronymi</i>	300,0	31,0	249,4	31	56,0	16,7	152,35	37
<i>Gymnopogon grandiflorus</i>								
<i>Jarava</i> spp.	174,0	18,0	352,4	44	38,0	11,3	110,63	27
<i>Melica argyrea</i>	13,0	1,3			1,0	0,3	1,033	0,2
<i>Nasella</i> spp.							25,31	6,1
<i>Paspalum</i> spp.	75,0	7,7	76,28	9,5	21,0	6,3	59,41	14
<i>Piptochaetium</i> spp.	14,0	1,4	11,13	1,4	21,0	6,3	20,70	5
<i>Schizachyrium</i> spp.	1,0	0,1	0,51	0,1			0,21	0
<i>Setaria</i> spp.	73,0	7,5	27,56	3,4	13,0	3,9	11,86	2,9
<i>Sporobolus</i> spp.	10,0	1,0	20	2,5	14,0	4,2	1,19	0,3
Otras especies	57,0	5,9			29	8,6		
TOTAL	968,0	100	803,9	100	336,0	100	414,0	100

	Sistema 3				Sistema 4				Sistema 5			
	Año 2006		Año 2008		Año 2006		Año 2008		Año 2006		Año 2008	
	Kg.ha ⁻¹	%	Kg.ha ⁻¹	%	Kg.ha ⁻¹	%	Kg.ha ⁻¹	%	Kg.ha ⁻¹	%	Kg.ha ⁻¹	%
					2	0,4						
									1,0	0,06	13,0	0,6
	1,0	0,8	4,12	2	9	1,6	13,82	2	1,0	0,06	2,6	0,1
							0		8	0,48		
							4,31	0,6				
							2,81	0,4	6,0	0,36	0,5	0
	39,0	32,5	8,15	4	100,0	17,5	99,03	14	243,0	14,7	35,3	1,7
	1,0	0,8	0,89	0,4	9	1,6			7	0,42		
			0,54	0,3								
	21,0	17,5	50,60	25	66,0	11,6	46,69	6,7	593,0	35,8	1315,2	61,9
							1,38	0,2				
	26,0	21,7	64,03	31	208,0	36,4	451,97	65	340,0	20,5	522,1	24,5
			0,17	0,1	1	0,2			2	0,12		
			24,79	12			14,18	2			4,7	0,2
	9,0	7,5	39,57	19	44,0	7,7	45,15	6,5	136,0	8,2	154,2	7,3
	1,0	0,8	6,85	3,3	57,0	10,0	4,96	0,7	26,0	1,57	24,4	1,2
					7,0	1,2	1,68	0,2	27,0	1,63	36,0	1,7
	2,0	1,7	5,02	2,4	23,0	4,0	4,09	0,6	126,0	7,6	16,4	0,8
			0,27	0,1	10,0	1,8	4,94	0,7	13	0,78		
	20	16,7			35	6,1			129,0	7,78		
	120,0	100	205,0	100	571	100	695,0	100	1658,0	100	2123,0	100

3.4 Riqueza de especies vegetales

La producción anual muestra predominancia de especies mesotérmicas en todos los sistemas, destacándose *Festuca hieronymi*, y especies de los géneros *Jarava* y *Nassella* (ex. *Stipa*), de baja aptitud forrajera. En menor proporción se encuentran poáceas de aptitud forrajera alta, como *Setaria fiebrigii* y *S. parviflora*, *Sporobolus indicus*, *Paspalum notatum*, *P. exaltatum*, *Bouteloua curtipendula* y *Bromus catharticus*. Sobresale una alta producción de Magnoliideae en el año 2006, principalmente en los sistemas arbolados sujetos a raleo a los 14 años y como respuesta a la apertura del dosel y a la reducción de la cobertura de *Festuca hieronymi*, *Jarava* spp. y *Nassella* spp.. Esta reacción fue temporaria, ya que la proporción de Magnoliideae se redujo notablemente en el año 2008.

La abundante riqueza de especies de la localidad evaluada se pone de manifiesto en el Cuadro 3. La riqueza de especies herbáceas fue alta en el 2008, con 108 especies; 46 de la subclase Liliidae, de las cuales 42 pertenecían a la familia Poaceae, 58 de la subclase Magnoliidae y 4 especies de helechos (Polypodiales). Estos valores son similares a los hallados por Pucheta et al. (1998) en un pastizal semi-natural de montaña de la provincia de Córdoba. Dentro de las Poaceae hubo 20 especies de valor forrajero bueno a muy bueno y 22 de valor regular a malo. Al considerar su vía fotosintética se registraron igual cantidad de especies de metabolismo fotosintético C3 que de C4, todas nativas o naturalizadas. Se determinó mayor diversidad de Magnoliidae, sin valor forrajero, que de Poaceae ($p < 0,05$), todos los años y en todos los tratamientos (Cuadro 4). Sin embargo, la mayor diversidad no siempre se correspondió con mayor producción, ya que en el año 2008, la proporción de las primeras sólo alcanzó un máximo de 14,2% en el S_4 (Cuadro 2).

Cuadro 3. Riqueza total de especies vegetales presentes durante los cuatro años del ensayo. Descripción de origen, valor forrajero y vías fotosintéticas.

Primera parte: Poaceae.								
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	STATUS	Valor forrajero	Vías fotosintéticas	2004	2005	2006	2008
<i>Agrostis montevidensis</i> Spreng. f.	Poaceae	Nativa	Regular	C3				x
<i>Bothriochloa barbinodis</i> (Lag.) Herter	Poaceae	Nativa	Regular	C4 NADP- me	x		x	x
<i>Bothriochloa laguroides</i> (D.C.) Herter	Poaceae	Nativa	Regular	C4 NADP- me			x	
<i>Bothriochloa saccharoides</i> (Sw.) Rydb.	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NADP- me				x
<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torrey	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 PCK		x	x	
<i>Briza subaristata</i> Lamarck	Poaceae	Nativa	Bueno	C3			x	x
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	Poaceae	Nativa	Bueno	C3		x	x	x
<i>Deyeuxia hieronymi</i> (Hack.) Türpe	Poaceae	Nativa	Bueno	C3				x
<i>Deyeuxia viridiflavescens</i> (Poir.) Kunth	Poaceae	Nativa	Bueno	C3		x	x	x
<i>Cynodon affinis</i> Caro & E.A. Sánchez	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NAD- me				x
<i>Cynodon incompletus</i> Nees var. <i>hirsutus</i> (Stent) de Wet & J.R. Harlan	Poaceae	Naturalizada	Bueno	C4 NAD- me		x	x	x
<i>Eragrostis polytricha</i> Nees var. <i>glabrata</i> Doell	Poaceae	Nativa	Regular	C4 PCK		x	x	x
<i>Eustachys distichophylla</i> (Lag.) Nees	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 PCK		x		x
<i>Eustachys retusa</i> (Lag.) Knuth	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NAD- me	x		x	
<i>Festuca hieronymi</i> Hackel	Poaceae	Endémica	Malo	C3	x	x	x	x

Continuación Primera parte: Poaceae.								
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	STATUS	Valor forrajero	Vías fotosintéticas	2004	2005	2006	2008
<i>Gymnopogon grandiflorus</i> Roseng., B.R. Arrill. & Izag.	Poaceae	Nativa	Bueno	C4				x
<i>Jarava juncooides</i> (Speg.) Peñailillo	Poaceae	Nativa	Malo	C3				x
<i>Jarava academica</i> (Hicken) Peñailillo	Poaceae	Nativa	s/d	C3		x	x	x
<i>Jarava niduloides</i> (Caro) Barkworth	Poaceae	Nativa	s/d	C3				x
<i>Melica argyrea</i> Hack.	Poaceae	Nativa	Malo	C3			x	x
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 PCK		x		x
<i>Nassella trichotoma</i> (Nees) Hack.	Poaceae	Nativa	Pobre	C3				x
<i>Nassella filiculmis</i> (Delile) Barkworth	Poaceae	Nativa	Regular	C3	x	x		x
<i>Nassella hunzikeri</i> (Caro) Barkworth	Poaceae	Endémica	Regular	C3				x
<i>Nassella hyalina</i> (Ness) Barkworth	Poaceae	Nativa	Regular	C3				x
<i>Nassella neesiana</i> (Trin. & Rupr.) Barkworth	Poaceae	Nativa	Bueno a Regular	C3				x
<i>Nassella stuckertii</i> (Hack.) Barkworth	Poaceae	Endémica	Regular	C3				x
<i>Nassella tenuissima</i> (Trin.) Barcworth	Poaceae	Nativa	Pobre	C3				x
<i>Paspalum humboltianum</i> Flügge	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NADP-me		x	x	x
<i>Paspalum malacophyllum</i> Trin.	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NADP- me		x	x	x
<i>Paspalum notatum</i> Flügge	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NADP- me		x	x	x
<i>Paspalum plicatulum</i> Michx.	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NADP- me				x
<i>Paspalum quadrifarium</i> Lam.	Poaceae	Nativa	Regular	C4 NADP- me	x	x		x
<i>Piptochaetium bicolor</i> (Vahl.) Desv.	Poaceae	Nativa	Bueno	C3	x	x	x	x
<i>Piptochaetium lasianthum</i> Griseb.	Poaceae	Nativa	Bueno	C3	x	x		x
<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) L.R. Parodi	Poaceae	Nativa	Regular a Bueno	C3	x	x	x	x
<i>Piptochaetium panicoides</i> (Lam.) E. Desv.	Poaceae	Nativa	Regular	C3				x
<i>Schizachyrium microstachyum</i> (Desv. ex Ham.) Roseng., B.R. Arrill. & Izag.	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NADP- me				x
<i>Schizachyrium spicatum</i> (Spreng.) Herter	Poaceae	Nativa	Regular	C4 NADP- me				x
<i>Schizachyrium tenerum</i> Nees	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 NADP- me	x	x	x	x
<i>Setaria fiebrigii</i> Herrmann	Poaceae	Nativa	Muy Bueno	C4 NADP- me		x	x	
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelen	Poaceae	Nativa	Regular	C4 NADP- me		x	x	x
<i>Setaria vaginata</i> Sprengel	Poaceae	Nativa	Regular	C4 NADP-me	x		x	x
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) Brown	Poaceae	Nativa	Bueno	C4 PCK	x	x	x	x
<i>Sporobolus pyramidatus</i> (Lam.) Hitchc.	Poaceae	Nativa	Regular	C4 PCK				x
<i>Sporobolus rigens</i> (Trin.) Desv. f. rigens	Poaceae	Nativa	Malo	C4 NAD- me				x
	Total Poaceae				11	21	22	42

Segunda Parte: Magnolideae							
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	STATUS	Valor forrajero	2004	2005	2006	2008
<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) D.C.	Asteraceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Alternanthera kurtzii</i> Schinz ex Pedersen	Amaranthaceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Amblyopetalum coccineum</i> (Griseb.) Malme	Asclepiadaceae	Endémica	Tóxica			x	x
<i>Ambrosia tenuifolia</i> Sprengel	Asteraceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Baccharis articulata</i> (Lam.) Pers.	Asteraceae	Nativa	Tóxica		x	x	x
<i>Baccharis coridifolia</i> D.C.	Asteraceae	Nativa	s/d	x	x		
<i>Baccharis ulicina</i> Hook. & Arn.	Asteraceae	Nativa	Maleza				x
<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	Nativa	Maleza	x	x	x	x
<i>Bidens subalternans</i> D.C.	Asteraceae	Nativa	Maleza		x	x	x
<i>Bidens triplinervia</i> Knuth	Asteraceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Borreria eryngioides</i> Cham & Schlecht. var. <i>ostenii</i> Cabr. & Bacigalupo	Rubiaceae	Nativa	s/d			x	
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. Mey.	Rubiaceae	Nativa	Maleza				x
<i>Carduus acanthoides</i> L.	Asteraceae	Naturalizada	Maleza	x		x	x
<i>Carduus thoermeri</i> Weim.	Asteraceae	Adventicia	Tóxica		x		x
<i>Cerastium humifusum</i> Camb.	Caryophyllaceae	Nativa	s/d		x		
<i>Cestrum parqui</i> L' Heritier	Solanaceae	Nativa	s/d		x		
<i>Chaptalia sinuata</i> (Less.) Baker	Asteraceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Chevreulia acuminata</i> Lessing	Asteraceae	Nativa	Maleza		x	x	x
<i>Chevreulia sarmentosa</i> (Pers.) S.F. Blake	Asteraceae	Nativa	s/d				x
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Tenore	Asteraceae	Naturalizada	s/d		x	x	x
<i>Cliococca selaginoides</i> (Lam.) C.M. Rogers & Mildner	Linaceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Cologania broussonetii</i> (Balb.) D.C.	Fabaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist var. <i>angustifolia</i> (Cabr.) Cabr.	Asteraceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Croton parvifolius</i> Müll Arg.	Euphorbiaceae	Endémica	s/d			x	x
<i>Cuphea glutinosa</i> Cham. & Schtdl.	Lythaceae	Nativa	Maleza	x	x	x	x
<i>Cynara cardunculus</i> L.	Asteraceae	Naturalizada	s/d		x	x	x
<i>Dichondra microcalix</i> (Hallier) Fabris	Convolvulaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Dichondra macrocalix</i> Meisn.	Convolvulaceae	Nativa	s/d				x
<i>Dichondra sericea</i> Sw. var. <i>holosericea</i> (O' Donell) Fabris	Convolvulaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Duchesnea indica</i> (Andrews) Focke	Rosaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Eryngium elegans</i> Cham. & Schtdl.	Apiaceae	Nativa	s/d				x
<i>Eryngium paniculatum</i> Cav.	Apiaceae	Nativa	s/d		x	x	
<i>Eupatorium argentinum</i> Ariza	Asteraceae	Nativa	s/d		x		
<i>Eupatorium hookerianum</i> Griseb.	Asteraceae	Nativa	s/d			x	x
<i>Eupatorium macrocephalum</i> Lessing	Asteraceae	Nativa	s/d		x		x
<i>Euphorbia lorentzii</i> Müll Arg.	Euphorbiaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Evolvulus sericeus</i> Sw. var. <i>sericeus</i>	Convolvulaceae	Nativa	s/d			x	
<i>Fragaria chiloensis</i> (L.) Mill.	Rosaceae	Nativa	s/d				x
<i>Galactia marginalis</i> Benth.	Fabaceae	Nativa	s/d		x	x	
<i>Galium richardianum</i> (Gillies ex Hook & Arn.) Endl. ex Walp.	Rubiaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x

Continuación Segunda Parte: Magnolideae							
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	STATUS	Valor forrajero	2004	2005	2006	2008
<i>Geranium core-core</i> Steud var. <i>diversifolia</i>	Geraniaceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Glandularia dissecta</i> (Willd.) ex Spreng. Schnack & Covas	Verbenaceae	Nativa	s/d				x
<i>Glandularia pulchella</i> (Spreng.) Troncoso	Verbenaceae	Nativa	s/d		x		
<i>Gnaphalium leucocephalum</i> Cabrera	Asteraceae	Nativa	s/d			x	
<i>Gymnocalycium monvillei</i> (Lem.) Britton & Rose	Cactaceae	Endémica	s/d			x	x
<i>Hybanthus parviflorus</i> (Mutis ex L.f.) Baill.	Violaceae	Nativa	s/d			x	x
<i>Hypochaeris chillensis</i> (H.B.K.) Hieronymus	Asteraceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Briq.	Lamiaceae	Nativa	s/d			x	
<i>Iresine diffusa</i> H.B.K. ex Willd.	Amaranthaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Krapovickasia flavescens</i> (Cav.) Fryxell	Malvaceae	Nativa	s/d				x
<i>Noticastrum diffusum</i> (Pers.) Cabrera	Asteraceae	Nativa	s/d			x	
<i>Oenothera rosea</i> Aiton	Oenotheraceae	Nativa	s/d		x		x
<i>Oxalis conorrhiza</i> Jacq.	Oxalidaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Pavonia glechomoides</i> A. St. Hilaire	Malvaceae	Nativa	s/d		x	x	
<i>Pfaffia gnaphalioides</i> (L. f.) Martius	Amaranthaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Pterocaulon alopecuroides</i> (Lam.) D.C.	Asteraceae	Nativa	s/d		x		
<i>Rhynchosia diversifolia</i> Micheli var. <i>diversifolia</i>	Fabaceae	Nativa	s/d		x		x
<i>Rhynchosia senna</i> Gillies x Hook. & Arn.	Fabaceae	Nativa	s/d				x
<i>Rhynchosida physocalyx</i> (A. Gray) Fryxell	Malvaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Rubus geoides</i> Sm.	Rosaceae	Nativa	s/d				x
<i>Salpichroa origanifolia</i> (Lam.) Thellung	Solanaceae	Nativa	s/d		x		
<i>Schkruria pinnata</i> (Lam.) O. Kuntze ex Thell	Asteraceae	Nativa	s/d	x	x		
<i>Scoparia aemilii</i> Chodat	Scrophulariaceae	Nativa	s/d		x		
<i>Senecio pampeanus</i> Cabrera	Asteraceae	Nativa	s/d	x	x		
<i>Solanum stuckertii</i> Bitter	Solanaceae	Nativa	s/d		x		x
<i>Solanum chenopodioides</i> Lam.	Solanaceae	Nativa	s/d				x
<i>Solanum tripartitum</i> Delile	Solanaceae	Nativa	s/d			x	
<i>Stylosanthes gracilis</i> Kunth	Fabaceae	Nativa	s/d		x		x
<i>Tagetes minuta</i> L.	Asteraceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Tagetes filifolia</i> Lag.	Asteraceae	Nativa	s/d		x	x	
<i>Taraxacum officinale</i> Weber ex Wigger	Asteraceae	Adventicia	s/d	x	x	x	x
<i>Tragia geraniifolia</i> Klotsh	Euphorbiaceae	Nativa	Forrajera	x	x	x	x
<i>Tragopogon dubius</i> Scop.	Asteraceae	Adventicia	s/d				x
<i>Trifolium repens</i> L.	Fabaceae	Adventicia	s/d		x	x	x
<i>Urtica urens</i> L.	Urticaceae	Naturalizada	s/d	x	x		
<i>Verbascum thapsus</i> L.	Scrophulariaceae	Nativa	s/d		x		
<i>Verbena rigida</i> Sprengel var. <i>rigida</i>	Verbenaceae	Nativa	s/d				x
<i>Viola metajaponica</i> Nakai	Violaceae	Introducida	s/d	x	x	x	x
<i>Walemburgia linarioides</i> (Lam.) D.C.	Campanulaceae	Nativa	s/d		x	x	
<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	Asteraceae	Nativa	s/d		x		
	Total Magnolideae			22	57	49	58

Tercera Parte: Otras Liliidae y Pteridofitae							
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	STATUS	Valor forrajero	2004	2005	2006	2008
<i>Anemia tomentosa</i> (Savigny) Sw.	Schizaeaceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Blechnum australe</i> L. subsp. <i>auriculatum</i> (Cav.) de la Sota	Blechnaceae	Nativa	Forrajera		x	x	x
<i>Carex bonariensis</i> Desf. var. <i>bonariensis</i>	Cyperaceae	Nativa	s/d		x	x	x
<i>Carex phalaroides</i> Kunth	Cyperaceae	Nativa	s/d				x
<i>Cheilanthes pilosa</i> Goldman	Pteridaceae	Nativa	s/d	x		x	
<i>Commelina erecta</i> L. var. <i>erecta</i>	Commelinaceae	Nativa	s/d	x	x	x	x
<i>Hypoxis humilis</i> Kunth	Amaryllidaceae	Nativa	s/d			x	x
<i>Cheilanthes buchtienii</i> (Rosenst.) R.M. Tryon	Pteridaceae	Nativa	s/d		x		x
<i>Cheilanthes hypoleuca</i> (Kuntze) Mett.	Pteridaceae	Nativa	s/d				x
<i>Nothoscordum gracile</i> (Dryand. ex Aiton) Stearn var. <i>gracile</i>	Liliaceae	Nativa	s/d		x	x	
<i>Pelexia bonariensis</i> (Lindl.) Schlecht.	Orchidaceae	Nativa	s/d		x	x	
	Total Pteridofitae y otras Liliidae			2	7	8	8

Cuadro 4. Riqueza promedio de especies por sistema y por año, discriminada en clases (Poaceae y Magnoliidae). Letras distintas en la columna indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$).

AÑO	Sistema	Riqueza Poaceae	Riqueza Magnoliidae	Riqueza total
2	250 árb.ha ⁻¹	10,33a	20a	33a
	500 árb. ha ⁻¹	8,33a	18a	28a
	750 árb. ha ⁻¹	8a	16,67a	27a
	550 árb. ha ⁻¹	8a	20a	29a
	Pastizal puro	12,66b	26,33b	41b
3	250 árb. ha ⁻¹	10,33a	22a	35a
	500 árb. ha ⁻¹	11a	25,33b	39b
	750 árb. ha ⁻¹	7,67a	21a	31a
	550 árb. ha ⁻¹	10,33a	17,67a	29a
	Pastizal puro	14,66b	25,66b	41b
4	250 árb. ha ⁻¹	15,33a	19a	38b
	500 árb. ha ⁻¹	15,66a	18,67a	37b
	750 árb. ha ⁻¹	13,33a	18,67a	34a
	550 árb. ha ⁻¹	13,66a	22a	38b
	Pastizal puro	13a	17a	31a

Existió una fuerte interacción entre año de medición y densidad arbórea ($p < 0,05$) para las variables de riqueza por lo cual debió analizarse cada variable por separado. Así, la riqueza de Poaceae de los sistemas con árboles aumentó con los años, luego del raleo, igualando a la del pastizal, mientras que la de Magnoliidae del pastizal disminuyó al cuarto año, igualando a los sistemas con árboles. No se observaron efectos marcados de la intensidad del raleo sobre la diversidad de los sistemas, sin embargo, el Sistema 3 (S_3), de mayor densidad, siempre presentó menor cantidad de especies que los otros (sólo estadísticamente significativo en el año 2008; Joseau et al. 2005, Hernández et al. 2009).

El aumento de la riqueza de herbáceas que se produjo en los sistemas arbolados se atribuye, por un lado, a los cortes periódicos para medir productividad que suprimieron el efecto de sombreado que ejercían las poáceas dominantes del sistema, tales como *Jarava* spp., *Nassella* spp. y *Festuca hieronymi*, y por el otro, a la protección brindada por los árboles.



Plantación de *Pinus elliotii* en zona de pastizal de altura de la Sierra de Comechingones, Establecimiento La Yunta, Río de los Sauces, Córdoba. Foto: G. Verzino.

4. CONCLUSIONES

La productividad global del componente aprovechable, medida en términos de fitomasa aérea consumible por grandes herbívoros y biomasa del fuste, de un sistema silvopastoril joven de *Pinus elliotii* con pastizal natural en el sur de las Sierras de Córdoba, puede ser mayor que la productividad de los sistemas forestal y pastizal puros si se manejan adecuadamente. En esta región, la presencia del estrato arbóreo tiene un impacto negativo significativo sobre la producción forrajera, razón por la cual, para lograr un sistema silvopastoril equilibrado y sostenido en el tiempo se requiere un ajustado control de la densidad arbórea durante todo el turno forestal. Si se retrasan excesivamente los raleos se produce una explosión inicial de Magnoliidae que luego disminuyen y, a la vez, se puede afectar en forma negativa la producción de forrajimasa, de tal manera que ésta tarda mucho en recuperarse aunque el raleo luego sea intenso. La riqueza del pastizal natural es alta, particularmente en zonas raleadas y con cortes periódicos del estrato herbáceo. No obstante, la calidad forrajera de las especies predominantes es pobre, por lo que debiera mejorarse tratando de favorecer la instalación y crecimiento de especies más atractivas para el ganado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba, que financió el proyecto; al propietario del establecimiento, Ingeniero Agrónomo Pedro Eduardo Valls, por su permanente colaboración; al Doctor Héctor Gonda, la Doctora Olga del Longo, la Bióloga Stella Maris Pons y el Ingeniero Agrónomo Aldo Rudi, por sus valiosos aportes durante la primera etapa del proyecto. También al Doctor Walter Robledo, por su contribución a la definición del diseño experimental, y a los alumnos del Programa de Iniciación Profesional de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, que participaron de las actividades de campo, laboratorio y gabinete. Dedicamos este trabajo al Ingeniero Agrónomo José Luis Indarte, incansable y querido compañero de rutas.



Medición de parcela de SSP de *Pinus elliotii* Engelm. con pastizal natural en la zona serrana sub-húmeda de la provincia de Córdoba en el centro de Argentina. Foto: G. Verzino.



Muestro de forrajimasa en SSP de *Pinus elliotii* Engelm. con pastizal natural en la zona serrana sub-húmeda de la provincia de Córdoba en el centro de Argentina. Foto: G. Verzino.

BIBLIOGRAFÍA

- Andenmatten, E; Letourneau, F; Getar, E; De Agostini, N. 2008. Linderos 1.0 Simulador para el procesamiento de parcelas forestales. (Inédito). Proyecto Nacional INTA N° 52 0405. "Funciones y algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado".
- Atlas Total de la República Argentina. 1981. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires. Fascículo 13:193-208.
- Barchuk, AH; Carranza, C. 2000. Plantas nodrizas en el establecimiento de *Prosopis flexuosa* en el Chaco Árido. Reunión Nacional del Algarrobo y III Reunión de la Asociación Argentina de Prosopis [Mendoza, Argentina, 2000]. p. 54.
- Burkart, A. 1969-1987. Flora Ilustrada de Entre Ríos. Colección Científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina. Tomo 6, Parte 2.
- Cabrera, AL. 1963-1970. Flora de la Provincia de Buenos Aires. Colección Científica del INTA. Buenos Aires, Argentina. Tomo 4, Parte 2.
- Canfield, RH. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. Journal of Forestry 39: 388-394.
- Carranza, CA; Ledesma, M. 2009. Influencia de la disponibilidad de luz y agua sobre parámetros productivos de *Trichloris crinita* (Lag.) Parodi y *Setaria lachnea* (Nees.) Kunth. Primer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles [Posadas, Misiones, 14-15 mayo 2009]. p. 142-150.
- Colcombet, L; Pachas, N; Carvallo, A. 2009. Evolución de sistemas silvopastoriles de *Pinus elliottii*, *Brachiaria brizantha* y *Penisetum purpureum* en predios de pequeños productores en el NE de Misiones, Argentina. Primer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles [Posadas, Misiones, 14-15 mayo 2009]. p. 239-245.
- Cozzo, D. 1995. Silvicultura de plantaciones maderables. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina.
- Dorado, M; Astini, E; Verzino, G; Di Rienzo, J; Perpiñal, E. 1997. Growth curves for *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* and *Pinus radiata* in two areas of the Calamuchita Valley (Córdoba, Argentina). Forest Ecology and Management 95:173-181.
- Dorado, M. 2001. Comportamiento silvicultural de *Pinus elliottii* en la zona montañosa del Valle de Calamuchita. Calidad de semilla y madera, su vinculación con el crecimiento. Tesis MS. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Fassola, HE; Lacorte, SM; Pachas, N; Pezzutti, R. 2005. Factores que influyen la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* Valls. bajo dosel de *Pinus taeda* L. en el Nordeste de Corrientes. Revista de Investigaciones Agropecuarias 34(3):21-38.
- Fassola, HE; Lacorte, SM; Pachas, N; Pezzutti, R. 2006. Efectos de distintos niveles de sombra del dosel de *Pinus taeda* L. sobre la acumulación de biomasa forrajera de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. Revista Argentina de Producción Animal 26:101-111.
- Fernández, ME. 2003. Influencia del componente arbóreo sobre aspectos fisiológicos determinantes de la productividad herbácea en sistemas silvopastoriles de la Patagonia Argentina. Tesis PhD. Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue. 240 p.
- Gorgas, JA; Tasile, JL. 2003. Recursos naturales de la Provincia de Córdoba. Los Suelos, Córdoba. Agencia Córdoba Deportes, Ambiente, Cultura y Turismo (DACyT) Sociedad de Economía Mixta (S.E.M.)– INTA.

- Hernández, R; Verzino, G; Joseau, J; López, M; Rodríguez Reartes, S. 2009. Cambios en la riqueza y la composición específica del pastizal natural en plantaciones de *Pinus elliottii* Engelm. de distintas densidades en las sierras de Córdoba, Argentina. Actas, V Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales [Corrientes, Argentina, 13-14 ago.2009]. p. 195.
- Joseau, J; Verzino, G; Hernández, R; Aráoz, S; Del Longo, O; Pons S; Rodríguez Reartes, S; Suárez, F. 2005. Impacto de la introducción del componente arbóreo (*Pinus elliottii* Engelm.) sobre el pastizal natural en las Sierras Comechingones, Córdoba, Argentina. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. [Corrientes, Argentina, 6-9 sept. 2005].
- Krishnamurthy, L; Avila, M. 1999. Agroforestería básica. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) - Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 340 p.
- Lacorte, SM; Esquivel, JI. 2009. Sistemas silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina: Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción. Actas, Primer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. [Posadas, Misiones, 14-15 mayo 2009]. p. 70-82.
- Luti, R; Bertrán de Solís, MA; Galera, FM; Müller de Ferreira, N; Berzal, M; Nores, M; Herrera, M; Barrera, JC. 1979. Vegetación. En: Vázquez, JB; Miatello, RA; Roqué, ME. (Eds.). Geografía física de la provincia de Córdoba, Buenos Aires, Editorial Boldt.
- Matteucci, S; Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Monografía N° 22. Washington DC, EE.UU., Editorial Eva Chesneau. 168 p.
- Morales, C. 2010. La foresto-industria en Córdoba. Primeras Jornadas de la Producción Regional. Villa General Belgrano, Córdoba, Argentina, Instituto Tecnológico Foro de los Ríos.
- Ong, CK; Huxley, P. 1996. Tree-crop interactions: A physiological approach. Wallingford, UK, Commonwealth Agricultural Bureaux International (CABI). 386 p.
- Pachecoy, VL; Jarsún, B. 1988. Mapa de Suelos. Hoja 3366-6. Santa Rosa de Calamuchita, Convenio Instituto Forestal Nacional (IFONA) - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba (MAGyRR).
- Pachecoy, VL; Jarsún, B; Espil, HO. 1990. Mapa de Suelos. Hoja 3166-36. Valle de Calamuchita, Convenio IFONA- MAGyRR.
- Pantiu, A; Kurtz, V; Capellari, A; Pochón, B. 2012. Interacción entre forrajeras y producción de carne en un sistema silvopastoril de Misiones. II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Santiago del Estero, Argentina, INTA – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP). p. 227-231.
- Pearson, A; Grelen, E; Johnson, K; Blackwood, B. 1982. Botanical composition and nutritive value of cattle diet on southern pine range. Research Paper SO-178. Southern Forest Experiment Station, Forest Service, United States Department of Agriculture (USDA).
- Plevich, O; Núñez, C; Cantero, J; Demaestri, M; Viale, S. 2002. Biomasa del pastizal bajo diferentes densidades de pino (*Pinus elliottii*). Agroforestería en las Américas 9(33-34):19-23.
- Pucheta, E; Vendramini, F; Cabido, M; Díaz, S. 1998. Estructura y funcionamiento de un pastizal de montaña bajo pastoreo y su respuesta luego de su exclusión. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata, Argentina 103(1).
- Reineke, LH. 1933. Perfecting a stand-density index for even aged forests. Journal of Agricultural Research 46:627-638.
- Unidad Provincial del Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos (UPSIIA). 2009. Caracterización del sector agropecuario por departamento: Departamento Calamuchita (en línea). Disponible En: <http://magenta.cba.gov.ar>

- Valls, P. 1993. Introducción al manejo integral de Recursos: pastoreo racional intensivo en un sistema forestal de sierra. Jornadas sobre pastoreo racional intensivo. Sociedad Rural de Río Cuarto. [Río Cuarto, Córdoba, 3-4 jun. 1993].
- Verzino, GM; Joseau, J; Dorado, M; Luque, L; Indarte, JL; Gonda, H; Destéfanis, M; Locatelli, F. 2005. Productividad de sistemas silvopastoriles de *Pinus elliottii* Engelm. con pastura natural en la ladera oriental de las Sierras Grandes y Sierra de Comechingones, Córdoba. Actas, III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. [Corrientes, Argentina, 6-9 sept. 2005]. CD.
- Verzino, G; Muttoni, F; Scherrer, C; Hernández, R; Joseau, J; Rodríguez Reartes, S; Acuña, C; Indarte, JL. 2007. Riqueza, productividad y aptitud forrajera del pastizal natural en sistemas silvopastoriles de *Pinus elliottii* Engelm. en la Sierra de Comechingones, Córdoba. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. [Concordia, Entre Ríos, Argentina, 25-26 oct. 2007] Panel en CD.
- Verzino, G; Joseau, J; Hernández, R; Rodríguez Reartes, S; López, M. 2009. Sistemas silvopastoriles de *Pinus elliottii* Engelm. con pastizales naturales en las Sierras de Córdoba, Argentina. Actas Primer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, [Posadas, Misiones, 14-16 mayo 2009]. p. 464.
- Wilson, JR. 1996. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. Australian Journal of Agricultural Research 47:1075-93.
- Yunusa, IAM; Mead, DJ; Lucas, RJ; Pollock, KM. 1995. Process studies in a *Pinus radiata*-pasture agroforestry system in a subhumid temperate environment. II. Analysis of dry matter in the third year. Agroforestry Systems 32:185-204.
- Young, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. Nairobi, Kenya, CABI- World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Zuloaga, FO; Nicora, EG; Rúgolo De Agrasar, Z; Morrone, O; Pensiero, J; Cialdella, AM. 1994. Catálogo de la Familia Poaceae en la Republica Argentina. Monographs in Systematic Botany, Missouri Botanical Garden. Vol. 47.
- Zuloaga, FO; Morrone YO. (Eds.). 1999. Catálogo de Plantas Vasculares de la República de Argentina. Monographs in Systematic Botany, Missouri Botanical Garden. Vol. 74. 1269 p.
- Zuloaga, FO; Morrone, O; Belgrano, MJ. 2009. Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (en línea). Missouri Botanical Garden Monographs in Systematic Botany. Disponible En: <http://www2.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/Especies.asp>

CUARTA PARTE:

FUNCIONES AMBIENTALES DE LOS SAF



Capítulo 12

FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Florencia Montagnini¹

¹ Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios Ambientales,
360 Prospect St., New Haven, CT 06511, EE.UU.,

Correo electrónico: florencia.montagnini@yahoo.com, florencia.montagnini@yale.edu

RESUMEN

El presente trabajo evalúa el papel de los sistemas agroforestales (SAF) sobre la adaptación y mitigación (AyM) del cambio climático (CC). Los SAF promueven resistencia para la adaptación a la variabilidad climática con la diversificación propia de estos sistemas, disminuyendo los riesgos y dando flexibilidad para cambiar hacia especies o variedades adaptadas a las nuevas condiciones. En los SAF los árboles mejoran el microclima y acumulan carbono en biomasa aérea y suelos. El papel de los SAF en el CC depende del diseño y el manejo, incluyendo especies anuales o perennes bajo sombra, sistemas silvopastoriles (SSP), multiestratos y complementarios (cercas vivas, rompevientos y corredores ribereños).

Los SAF bien implementados y manejados pueden tener tasas de acumulación de carbono (C) elevadas, y ser una herramienta efectiva para la M del CC. La captura de C por SAF en biomasa aérea y la acumulación en suelos dependen del sitio, diseño, especies, edad y manejo. Los SAF con cultivos perennes acumulan más carbono que SAF con anuales. Cuando son bien diseñados y manejados, los SSP pueden compensar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y hasta convertirse en sistemas de C neutral.

La promoción de los SAF para objetivos de AyM de CC requiere herramientas para la evaluación de su potencial para la captura y acumulación del C. La elección de la herramienta adecuada depende de los objetivos del proyecto, sean éstos de investigación o de mitigación y venta de bonos de carbono. El uso de ecuaciones alométricas es fundamental para lograr precisión en las estimaciones de carbono de los componentes de los SAF.

Los SAF pueden contribuir a evitar la deforestación al proveer productos en tierras ya deforestadas, convirtiéndose en una herramienta importante para los programas de REDD+, especialmente para las zonas de amortiguamiento o periferia de las reservas de bosque. Programas de compensación tales como pagos por servicios ambientales (PSA) tienen un papel básico en promover sistemas de uso y manejo de la tierra que neutralicen emisiones de GEI y que contribuyan a mantener las formas de vida. Los SAF son importantes para la transformación de la agricultura convencional en “agricultura climáticamente inteligente” que aumenta la productividad de manera sostenible, es resiliente, reduce los GEI y contribuye al logro de metas de seguridad alimentaria y desarrollo.





INTRODUCCIÓN

Los impactos del cambio climático (CC) sobre la agricultura han sido documentados ampliamente (IPCC 2007, Cifuentes Jara 2010, entre otros). En algunas regiones de América Latina los agricultores difícilmente pueden adaptarse a estos cambios. Actualmente los precios de los productos agrícolas apenas compensan las reducciones en los rendimientos, lo que pone a los agricultores en una situación extremadamente vulnerable (Santibáñez y Santibáñez 2007).

Los SAF son uno de los mecanismos para la adaptación al CC debido a su diseño que promueve un microclima moderado bajo la sombra de los árboles, donde la temperatura en promedio puede disminuir de 2 a 5°C (Murgueitio et al. 2011). Una ventaja adicional de los SAF es que pueden evitar la deforestación al proveer productos maderables en tierras ya deforestadas, convirtiéndose en una herramienta para los programas de REDD+.

En el mundo existen aproximadamente 1.000 millones de hectáreas de SAF (Nair et al. 2010). Los SAF se encuentran ampliamente difundidos en América Latina, con un total de 200-357 millones de ha incluyendo 14-26 millones en América Central y 88-315 en América del Sur, siendo los más prominentes los sistemas silvopastoriles (SSP; combinación de árboles con pasturas/ganado en la misma unidad de producción) y los de cultivos anuales y perennes bajo sombra (Somarriva et al. 2012). Los SAF con cultivos perennes tienen mayor potencial para la captura del C que los SAF con cultivos anuales, ya que el cultivo perenne contribuye a la captura de C total del sistema en su biomasa y suelos (Montagnini y Nair 2004).

El presente trabajo evalúa el papel de los sistemas agroforestales (SAF) sobre la adaptación y mitigación (AyM) del cambio climático (CC). Basado en una revisión de literatura se presentan datos sobre la mitigación del CC con toma y/o acumulación de C en diferentes tipos de SAF (SAF con cultivos anuales y perennes y sistemas silvopastoriles [SSP]) en biomasa aérea y en suelos. Finalmente se plantea cómo pueden los SAF ser una herramienta efectiva para proyectos REDD+.

1. LOS SISTEMAS AGROFORESTALES Y SU FUNCIÓN EN LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Las alteraciones del clima afectan al sector agropecuario de forma diversa. Los principales efectos directos del cambio climático sobre la agricultura recaen en la duración y estacionalidad de los ciclos de cultivo, alteraciones fisiológicas por exceder las temperaturas a las cuales los cultivos están adaptados, deficiencias de agua y aumento de la erosión por la desecación del suelo y mayor escorrentía superficial (Cifuentes Jara 2010). En cultivos de importancia para las economías de los países de América Latina, como en el caso del café en Brasil, México, Nicaragua y otros países, existen mapas donde se observa el cambio en las regiones aptas para el cultivo a medida que cambian las condiciones del clima de cada región (Pinto et al. 2002, Jarvis et al. 2010).

El aumento de la concentración de CO₂ tiene el potencial de incrementar la productividad de algunos cultivos, pero este efecto es limitado (Cifuentes Jara 2010). Indirectamente, el cambio climático afectaría la incidencia de plagas y enfermedades, el ciclaje y disponibilidad de nutrientes del suelo, y aumentaría la propensión a incendios. Algunos cultivos podrían ser beneficiados con aumentos en la producción, sin embargo analizando cultivo por cultivo las perspectivas arrojan resultados negativos en la producción de granos básicos y otros productos alimentarios para la mayoría de los países en América Latina (Cifuentes Jara 2010).

1.1 Estrategias de adaptación al cambio climático en la agricultura

Los SAF son considerados sistemas claves en la tendencia actual de promoción de la transformación de la agricultura convencional en “agricultura climáticamente inteligente” (“climate-smart agriculture”; FAO 2010, 2012). La agricultura climáticamente inteligente (CSA, por sus siglas en inglés), tal y como fue definida y presentada por la FAO en la Conferencia sobre Agricultura, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático de 2010 en La Haya, integra las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, social y medioambiental), abordando de forma conjunta la seguridad alimentaria y los retos climáticos. Se basa en tres pilares fundamentales:

- incrementar de forma sostenible la productividad y los ingresos agrícolas;
- adaptar y desarrollar resiliencia al cambio climático;
- reducir y/o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero donde sea posible.

El enfoque de CSA está diseñado para identificar y poner en marcha el desarrollo agrícola sostenible dentro de los parámetros explícitos del cambio climático. La coordinación entre los sectores agrícolas (p. ej., cultivos, ganado, manejo de bosques y pesca), así como entre otros tales como el de la energía y el agua, es esencial para aprovechar las posibles sinergias, reducir las compensaciones y optimizar el uso de los recursos naturales y de los servicios de ecosistema. Este enfoque también está dirigido a fortalecer los medios de vida y la seguridad alimentaria, especialmente de los pequeños productores, mediante la mejora de la gestión y uso de los recursos naturales, y la adopción de métodos y tecnologías apropiados para la producción, procesamiento y comercialización de los bienes agrícolas (FAO 2010, 2012).

Para maximizar los beneficios y minimizar las compensaciones, las estrategias de AyM en la agricultura deben tomar en consideración el contexto social, económico y medioambiental en el que serán aplicadas. Se evalúan, igualmente, las repercusiones sobre la energía y los recursos locales.

Un componente clave es el enfoque integrado del paisaje, que atiende a los principios de gestión de ecosistema y uso sostenible de la tierra y el agua (Mendelsohn y Dinar 1999, FAO 2010, 2012). Las estrategias de adaptación que han resultado efectivas para reducir los impactos adversos del cambio climático incluyen cambios en especies y manejo de los cultivos, por ejemplo:

- Cambio de especies de cultivos hacia otros mejor adaptados
- Cambios en las temporadas de cosecha
- Control de plagas y enfermedades cuya incidencia o gravedad ha aumentado debido al CC
- Traslado de cultivos a elevaciones más altas donde prevalecen menores temperaturas promedio
- Mejora en los sistemas de riego

Otras estrategias de adaptación involucran cambios hacia otras actividades que reemplazan a aquellas más afectadas por el cambio climático, por ejemplo:

- Cambios en el uso de la tierra hacia otras actividades productivas
- Desarrollo del mercado de especies de cultivos nuevos

La implementación y el manejo de SAF adecuados pueden involucrar varias de esas mismas estrategias al mismo tiempo. Por ejemplo, las consecuencias y posibles estrategias de adaptación al CC han sido bastante estudiadas en la cadena montañosa de la Sierra Madre de Chiapas, en el sur de México, región que se caracteriza por su alta biodiversidad, a la vez de ser una de las áreas de producción de café más importantes del país. Allí, extensas áreas de bosque y ocasionalmente cafetales son destruidos cada año por incendios, problema que se espera aumente debido al clima más caliente y más árido (Schroth et al. 2009). Un clima más cálido y con precipitaciones más irregulares será menos favorable para la producción de café de calidad, por lo cual estos autores sugieren que una estrategia para mantener la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y las formas de vida en la Sierra Madre debería incluir la promoción de café ambientalmente amigable, con sombra de especies que confieran alguna protección contra los huracanes y aumenten la diversificación de los productos de estos SAF (Schroth et al. 2009).

La diversificación económica es una estrategia para manejar el riesgo climático y el de los mercados, al disminuir la dependencia de los ingresos provenientes de la agricultura. Los SAF tienden a lograr mayor diversificación tanto a nivel de sistema de producción, como de finca y del paisaje. Las precipitaciones más irregulares, especialmente en regiones semi-áridas del África, disminuyen los ingresos por venta de las cosechas, lo cual es la causa más importante de variabilidad de los ingresos de los agricultores en estas regiones (Verchot et al. 2007). Resultados de estudios recientes en pequeñas comunidades demostraron que como respuesta al riesgo, estos agricultores aumentaban significativamente la diversificación de sus ingresos, incluyendo la cría de ganado, empleo en trabajos externos y otras fuentes de ingreso fuera de sus fincas (Verchot et al. 2007). Uno de los SAF mencionados por estos mismos autores, el cual es utilizado con este propósito por los agricultores en muchas áreas del este y sur del África, es un sistema de barbechos mejorados, que aumenta significativamente la producción del maíz en suelos degradados donde el nitrógeno es un factor limitante (Verchot et al. 2007).

Otro SAF cuya importancia para amortiguar los riesgos asociados con la variabilidad climática ha sido bastante reconocida es el de “parquizado” o sistemas de árboles dispersos en el terreno (Ong y Leakey 1999, Ong et al. 2002). En los sistemas de árboles dispersos en el oeste del África, los árboles valiosos apreciados por los agricultores por sus productos de alto valor comercial, tales como el “shea butter” (*Vitellaria paradoxa*) y “ne´re” (*Parkia biglobosa*), son asociados con mijo en SAF convencionales. En cambio, en los SAF diseñados para diversificar y aumentar los ingresos, además de las dos especies anteriores, se agregan especies arbóreas indígenas tales como *Melia volkensii* (Meliaceae), la cual es altamente compatible con los cultivos agrícolas y provee madera de alta calidad en 5–10 años (Verchot et al. 2007). Estos son algunos ejemplos de cómo la diversificación favorecida por los SAF puede aumentar la seguridad de los ingresos, y así disminuir los riesgos para el productor ante las consecuencias negativas del cambio climático.

1.2 La sombra de árboles en SAF como estrategia de adaptación al CC

Una de las estrategias de adaptación al CC favorecidas por los SAF es el cambio a otros cultivos. Esto es generalmente más factible en agricultores que practican SAF, ya que los SAF involucran combinaciones de especies de cultivos y/o animales, generando agroecosistemas de más diversidad, lo cual redundará en mayor flexibilidad ante los cambios. Otra estrategia es el cambio en la ubicación de cultivos a otras zonas más adecuadas. Por ejemplo, dado que la temperatura promedio disminuye aproximadamente 1°C por cada ~ 400 m a medida que se asciende en altitud, según la adaptabilidad de los cultivos y otros factores, es factible que la agricultura “se suba por las laderas” (Jarvis et al. 2010). Asimismo, estudios en SAF en regiones tropicales han demostrado que bajo los árboles del dosel, de una altura promedio de 20 m, hay una disminución de ~ 2°C de temperatura, en comparación con un sitio sin árboles, por lo cual se sugiere que sería posible enfrentar aproximadamente 50 años de cambio climático con el uso de árboles de sombra en SAF (Jarvis et al. 2010).

A nivel del cultivo, el diseño adecuado de SAF puede contribuir a la adaptación al CC. Por ejemplo, en los SAF de café las fluctuaciones de temperatura, humedad y radiación solar disminuyen al aumentar la densidad de la sombra, indicando que los árboles de sombra protegen a las plantas de café de la variabilidad del clima (Pinto et al. 2002). La reducción de las fluctuaciones en la temperatura ayuda a que el café permanezca a la temperatura óptima. La reducción de la humedad durante el día permite menor pérdida de agua por evapotranspiración (Afanador Ardila 2008). Asimismo, el café bajo sombra en SAF logra un producto de mejor calidad (Muschler 2001). Otros aspectos relacionados con la influencia de la sombra sobre el café son presentados en mayor detalle en Rapidel et al. (este volumen).

Los árboles de sombra también brindan protección contra radiación solar excesiva, vientos fuertes y lluvias torrenciales, y preservan contra las consecuencias de éstos sobre el cultivo asociado y sobre el ecosistema. El cultivo de la yerba mate, *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire, Aquifoliaceae, cuando es realizado como un monocultivo, produce frecuentemente erosión y agotamiento del suelo, efectos que son mucho menores cuando la yerba mate es asociada con árboles en SAF (Ilany et al. 2010). La yerba mate crece en forma natural en bosque subtropical y es tolerante a la sombra, es decir que posee características que le permiten ser cultivada en SAF (Montagnini et al. 2011). Muchos agricultores intercalan árboles maderables entre las líneas de yerba mate. Las especies maderables más comunes asociadas con la yerba mate en Misiones, Argentina son especies exóticas como el kiri (*Paulownia* spp.), paraíso (*Melia azedarach*), y pinos (*Pinus elliottii* y *P. taeda*), así como árboles nativos como el pino Paraná o araucaria (*Araucaria angustifolia*), peteribí o loro negro (*Cordia trichotoma*), entre otros (Eibl et al. este volumen, Montagnini et al. 2011).

Los árboles acompañantes cumplen una función protectora, además de mejorar la fertilidad del suelo según las especies (Eibl et al. este volumen, Montagnini et al. 2011). En Misiones, un suelo desprovisto de vegetación puede alcanzar al mediodía temperaturas de hasta 55°C, mientras que las temperaturas del suelo nunca exceden los 32°C en yerbales que tienen coberturas verdes y/o árboles (Reutemann 2009). Además, en áreas con neblinas, los árboles pueden ser puntos de condensación y capturar gotas de agua, produciendo “precipitación horizontal,” la cual puede ser un aporte importante de agua en tiempos de sequía (Baggio et al. 2008, Silva et al. 2008). La presencia de árboles también modera los efectos del viento (Reutemann 2009).

La excesiva exposición al sol durante el verano en Misiones puede dañar las plantas de yerba mate cultivadas en monocultivo, lo cual lo mencionan también investigadores de EMBRAPA Forestal (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria) para Brasil. También parece haber una tendencia de preferencia del consumidor por yerba mate cultivada a la sombra, debido a la mejor calidad del producto (Baggio et al. 2008).

Asimismo, la disminución de la temperatura del aire bajo el dosel arbóreo es una de las ventajas principales de los sistemas silvopastoriles (SSP). Los sistemas silvopastoriles (SSP) pueden contribuir a la mitigación del cambio climático debido a la captura de carbono, tanto por arriba como por debajo de la tierra, con la ventaja adicional de aumentar la productividad en el corto y largo plazo, favorecer la biodiversidad y proveer beneficios sociales y económicos al agricultor. En los SSP las temperaturas durante todo el año en climas tropicales pueden ser en promedio 2-5°C menores bajo la copa de los árboles en comparación con temperaturas medidas afuera de la copa, lo cual depende de las características de los árboles. Asimismo, en climas subtropicales en el invierno las temperaturas son mayores bajo dosel arbóreo que al descubierto. De esta manera la incorporación de árboles para sombra en SSP agrega resiliencia para la adaptación a la variabilidad del clima (Murgueitio et al. 2011, Montagnini, 2012, Montagnini et al. 2013).

1.3 La ganadería y el cambio climático: alternativas

Los sistemas de producción ganadera proveen aproximadamente el 30% del consumo de proteína de los seres humanos, utilizan cerca del 30% de la superficie de la tierra mundialmente, y contribuyen al bienestar de 1,3 mil millones de personas, especialmente en zonas rurales pobres (Steinfeld et al. 2006). Por otro lado, los sistemas de producción ganadera también tienen fuertes impactos ambientales, ya que a nivel mundial el sector contribuye con 18-20% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI; Steinfeld et al. 2006).

En América Latina, el sector ganadero produce 58 a 70% de las emisiones de GEI totales de la agricultura (World Bank 2010). Cerca del 40% de emisiones de GEI del ganado (metano, CH₄ y óxido nitroso, N₂O) provienen de la fermentación entérica (Steinfeld et al. 2006). Es importante notar que ambos GEI tienen mayor efecto en calentar la atmósfera que el dióxido de carbono: el CH₄ con 23 veces mayor potencial y el N₂O con 296 veces el potencial del CO₂ (Steinfeld et al. 2006). En consecuencia, debemos considerar los compromisos existentes entre los objetivos del uso de recursos para producir alimentos, las emisiones de GEI por parte de los sistemas de producción, y las formas de vida de las poblaciones humanas que es preciso mantener y mejorar (Steinfeld et al. 2006, Murgueitio et al. 2009).

Ante esta situación se presentan diversas alternativas:

1. Adaptación de estrategias de alimentación del ganado para reducir las emisiones de GEI: forraje de buen valor nutritivo resulta en menores emisiones que forraje de baja digestibilidad. Las emisiones de CH₄ pueden ser 15-18% mayores en la estación seca debido al menor valor nutritivo del forraje. Si se alimenta el ganado con buen forraje, por ejemplo, con forraje de leguminosas que contienen taninos condensados (*Lotus* spp., *Leucaena*, otras especies) se puede disminuir la emisión de metano en 12-15% y aún obtenerse mejoras en la productividad del ganado (Waghorn 2008, Barahona et al. 2003).
2. Planificación de sistemas de producción ganadera para que tomen carbono: los “sistemas de C neutral” pueden neutralizar un nivel dado de emisiones, dependiendo de su capacidad de reducir emisiones, eliminar emisiones, o usar créditos de C que demuestren integridad ambiental en mercados nacionales o internacionales (Murgueitio et al. 2009, Ibrahim y Guerra 2010). En estas estrategias, los sistemas silvopastoriles (SSP) cumplen una función importante con la mitigación del CC según se muestra en las siguientes secciones.

1.4 Beneficios de los SAF que contribuyen a la adaptación al CC

En resumen, los beneficios de los SAF que directa o indirectamente contribuyen para hacer frente a los cambios climáticos pueden incluir muchas de las ventajas por las que generalmente se fomentan los SAF (Montagnini et al. 1992, Montagnini y Nair 2004, Nair et al. 2009, Montagnini 2012):

- Cambios en las condiciones microclimáticas, lo cual incluye protección contra los extremos de temperatura, así como una mayor eficiencia del uso del agua de lluvia, protección contra las precipitaciones fuertes, y conservación del suelo y del agua (tal como se mencionó para el caso del café y de la yerba mate)
- Aumentos en la fertilidad del suelo (reciclaje de nutrientes; ejemplos mencionados de sistemas de árboles con cultivos y barbechos mejorados)
- Aumentos de la producción y sostenibilidad a largo plazo (condición básica de casi todos los SAF)
- Reducción de la incidencia de algunas plagas y malezas (esto es discutido en detalle por Rapi-del et al. este volumen)
- Diversificación de los sistemas agrícolas y de los ingresos (ejemplos mencionados anteriormente para África)
- Contribución a la seguridad alimentaria (tal como se presenta en otros capítulos de este volumen, ej. Montagnini y Metzler, Marlay, entre otros)
- Contribución a la conservación de la biodiversidad y otros servicios ambientales (presentado también en detalle en otros capítulos de este volumen, ej. Chait, Francesconi y Montagnini, Virginio Filho et al. entre otros)

Por otro lado, como en todas las alternativas de usos de la tierra deben considerarse posibles desventajas del uso de SAF, las cuales pueden consistir en competencia por el agua y los nutrientes entre los diferentes componentes del sistema (especialmente durante las sequías y en suelos pobres); mayor incidencia de ciertas plagas, por ejemplo enfermedades fungosas en café, cacao; necesidad de mano de obra (para la poda y otras tareas); y la posibilidad de que los SAF sean adoptados plenamente por los agricultores (influida por las variables ya mencionadas, además de las tradiciones de los agricultores, su aversión al riesgo y otros factores).

Para lograr un balance adecuado entre estas ventajas y desventajas es posible realizar un análisis de la eficiencia económica de los SAF como estrategia de adaptabilidad al CC, examinando los beneficios de los SAF, para ver si los agricultores están o no en mejor situación con los SAF. Los detalles de la implementación y manejo de los SAF dependerán de las condiciones locales, que varían para cada agricultor. Deben compararse los beneficios de los SAF a lo largo de gradientes regionales de temperaturas y humedad, para poder determinar en qué punto los beneficios de los agricultores se aprovechan al máximo, y lograr un punto de vista acertado sobre las regiones donde los SAF son una opción eficiente para la adaptación al CC (Afanador Ardila 2008).

2. LOS SAF Y LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los SAF cumplen un papel importante en la mitigación del CC al disminuir la presión sobre los bosques, los cuales son el mayor reservorio de C, además de contribuir a la toma de C en el componente arbóreo, en cultivos y en suelos (Montagnini y Nair 2004). El potencial para la captura de C por los SAF es muy variable, con tasas de 0,29-15,21 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para la parte aérea, y acumulación de 30-300 Mg C ha⁻¹ para los suelos, dependiendo del sitio, tipo de SAF, especies involucradas, edad y manejo (Montagnini y Nair 2004, Nair et al. 2010). Para los SSP, se citan cifras de captura de C para la vegetación (aérea y subterránea) de 1,1-6,55 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ (Nair et al. 2010).

Existe mucha variabilidad en el potencial para la toma de C entre las diferentes especies utilizadas en SAF, sea árboles, arbustos, o cultivos, unido a la variabilidad esperada entre regiones, sumado a las diferentes prácticas de manejo que también pueden afectar estas tasas. Variaciones en las condiciones ambientales (clima, suelos) pueden afectar la toma de C dentro de una región determinada. Los supuestos utilizados en los cálculos pueden originar errores en las estimaciones de biomasa y C (densidad de madera, contenido de C en tejidos, ecuaciones alométricas y modelos). Es necesario tomar en consideración esta variabilidad al realizar estimaciones y extrapolaciones.

2.1 Acumulación de C en SAF con cultivos anuales

Existen estudios de toma de C realizados en SAF de “cultivos en callejones,” donde cultivos anuales se siembran entre hileras de árboles cuya poda produce biomasa para fertilizar el suelo en los callejones que se encuentran entre las hileras. De datos de un estudio de dos SAF de cultivos en callejones, realizados en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica, Koskela et al. (2000) estimaron la acumulación anual de las partes ‘lábil’ del sistema (C almacenado en follaje y ramas de los árboles, y el C en los cultivos anuales de maíz y frijol), y la compararon con la acumulación o almacenamiento ‘permanente’ en los troncos de los árboles de *Erythrina poeppigiana*. En este SAF con cultivos anuales, el almacenamiento de C por las partes perennes del sistema fue mayor que en las lábil, pero aun así fue bastante inferior al C acumulado en otros tipos de SAF con cultivos perennes.

En general, el estudio concluye que los cultivos en callejones presentan un bajo potencial para el almacenamiento de C. Como los árboles son podados para depositar su material en los callejones, el C solamente es almacenado en los troncos que quedan luego de la poda. La frecuencia de poda, que puede ser cada dos meses durante el periodo de crecimiento, afecta mucho la capacidad de almacenamiento de C.

En SAF de cultivos anuales existe acumulación de C en las partes ‘lábilés’ del sistema (follaje y ramas de los árboles y en los cultivos anuales), y almacenamiento ‘permanente’ en los troncos de los árboles, el cual es mayor que en las lábilés. En el Cuadro 1 se ven valores de acumulación de C en biomasa aérea en SAF con cultivos anuales de un rango variable de 0,65 a 30 Mg C ha⁻¹. En general los SAF con cultivos anuales acumulan cantidades de C menores que los SAF con especies perennes (Montagnini y Nair 2004). Sin embargo, en el Cuadro 1 se ven rangos de 35 a 120 Mg C ha⁻¹ especialmente en SAF de plantaciones con cultivos anuales intercalados (“Taungya”) donde los árboles son especies maderables de buen crecimiento.

Los sistemas Multiestrato en el Cuadro 1 incluyen huertos familiares, barbechos mejorados, y otros SAF con árboles de bosque o plantados asociados con cultivos anuales y perennes. La acumulación de C en SAF Multiestrato depende principalmente de los árboles acompañantes, los cuales si son de bosque maduro pueden llegar a valores de hasta casi 200 Mg C ha⁻¹ en clima ecuatorial (Af), en SAF en bosque lluvioso tropical. En cambio en climas tropicales con estación seca (Am y Aw) los valores para los SAF Multiestrato son más variables, llegando a alrededor de 100 Mg C ha⁻¹ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rangos de acumulación de carbono (C stock) en biomasa aérea en SAF ordenados según el sistema Koeppen para clasificación de climas: Af es tropical sin estación seca, Am es tropical con estación seca corta, Aw es cálido con estación seca en invierno, Cfa es subtropical sin estación seca y verano cálido (datos de la autora).

Clima	Sistemas Agroforestales		C en biomasa aérea	
	Categoría	Subcategoría	Carbono almacenado (Mg ha ⁻¹)	# de datos
Af	Cultivos anuales	Taungya	35	1
Af	Cultivos perennes	Café con árboles plantados	22 a 35	2
Af	Multiestrato	Cultivos alimentarios con árboles de bosque	64 a 69	2
Af	Multiestrato	Barbecho mejorado	21 a 294	9
Af	Multiestrato	SAF indígena	59	1
Af	Silvopastoril	Arboles plantados en pasturas	13 a 58	7
Af	Silvopastoril	Pasturas con árboles residuales	19 a 74	2
Af	Complementario	Cercas vivas	70	1
Am	Cultivos anuales	Cultivos en callejones	0.65	1
Am	Cultivos anuales	Taungya	58 a 120	1
Am	Cultivos perennes	Cacao con árboles plantados	24	1
Am	Cultivos perennes	Café con árboles plantados	47 a 237	1
Am	Cultivos perennes	Café y cacao en bosque	19 a 47	1
Am	Cultivos perennes	Café orgánico en bosque (policultivo)	39	1
Am	Cultivos perennes	Café orgánico árboles de Inga naturales	46	1
Am	Cultivos perennes	Policultivo de café bajo sombra no orgánico	39	1
Am	Cultivos perennes	Varios cultivos en bosque	41 a 74	2
Am	Multiestrato	SAF comercial	3 a 114	8
Am	Multiestrato	Huertos familiares indígenas	72	1
Am	Multiestrato	Barbecho mejorado	4 a 60	6
Am	Silvopastoril	Banco forrajero	2 a 7	3
Am	Silvopastoril	Arboles plantados en pasturas	0,31 a 3,3	9
Am	Silvopastoril	Pasturas con árboles residuales	2 a 31	11
Am	Complementario	Bosquetes	21	1
Aw	Cultivos anuales	Cultivos en callejones	30	1
Aw	Cultivos perennes	Cacao con árboles plantados	31 a 52	3
Aw	Multiestrato	SAF comercial	64,5	1
Cfa	Cultivos anuales	Cultivos con árboles plantados	7 a 23	6
Cfa	Cultivos perennes	Yerba mate con árboles plantados	12 a 169	5
Cfa	Silvopastoril	Arboles plantados en pasturas	51 a 92	2

2.2 Acumulación de C en SAF con cultivos perennes

Existen numerosos trabajos de estimaciones de C en SAF de combinaciones de árboles con cultivos perennes, tales como cacao y café. Por ejemplo, usando resultados de estudios de C almacenado en SAF de cacao con árboles de sombra en Turrialba, Costa Rica, Koskela et al. (2000), analizando datos de Beer et al. (1990), mostraron que el C almacenado en biomasa vegetal perenne fue similar para dos sistemas estudiados: 4,28 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ para un sistema cacao-*Cordia alliodora*, y 3,08 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ en un sistema cacao-*Erythrina poeppigiana*. A pesar de estos valores relativamente elevados, éstos eran solamente un 50% de los valores del bosque natural.

Otros estudios de biomasa y toma de C en otras partes del mundo y con otras especies también muestran que los SAF con cultivos perennes acumulan cantidades de C considerablemente mayores que los SAF con especies anuales. Los valores de acumulación de C para café con árboles plantados en la literatura van de 47 a 237 Mg C ha⁻¹, y para café con árboles de bosque, existen valores de 20 a casi 50 Mg C ha⁻¹ (Cuadro 1). Para cacao se muestran valores de 24 a 52 Mg C ha⁻¹ (árboles plantados). En Rio Grande do Sul, Brasil, fue estimado que la yerba mate puede capturar 5,45 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ en promedio en biomasa aérea, con reservas en el suelo >56 Mg C ha⁻¹ (Alegre et al. 2007).

En general, los SAF con especies perennes acumulan más C que los SAF con anuales debido a la contribución adicional de los árboles o arbustos del cultivo perenne. En conclusión, puede decirse que los SAF con cultivos perennes pueden ser importantes en el almacenamiento de C, mientras que los SAF con cultivos anuales y manejo intensivo son más parecidos a la agricultura convencional.

2.3 Captura de C en sistemas silvopastoriles (SSP)

La toma de C en pasturas puede aumentar sustancialmente con el pastoreo controlado, uso de especies de pasturas adecuadas, y empleo de SSP (Lal 2005, Ibrahim et al. 2007, Murgueitio et al. 2011). En Costa Rica, Colombia y Nicaragua se examinó el almacenamiento del C aéreo y en suelos en pasturas degradadas, pasturas mejoradas, bosques secundarios y plantaciones forestales. En Costa Rica, las plantaciones de teca y bosques secundarios tuvieron la mayor cantidad de C en biomasa aérea (90 Mg C ha⁻¹). Las pasturas degradadas tuvieron el menor C orgánico del suelo (COS; 22 Mg C ha⁻¹), mientras el COS fue 96 Mg C ha⁻¹ en las plantaciones de árboles y 140 Mg C ha⁻¹ en pasturas mejoradas sin árboles. Se concluye que la toma de C puede aumentar con el uso de pastos mejorados y con la adición de árboles en el paisaje en SSP, plantaciones forestales y bosques ribereños (Ibrahim et al. 2007).

En otro estudio de C en SSP en la zona del Pacífico seco de Costa Rica, pasturas con especies de rápido crecimiento (*Brachiaria brizantha*) fueron comparadas con pastos tradicionales dominados por *Hyparrhenia rufa*. Tres especies de árboles nativos fijadores de nitrógeno (*Pithecellobium saman*, *Diphysa robinoides* y *Dalbergia retusa*) fueron plantados a 2 m x 2 m dentro de las líneas, con callejones de 8 m de ancho entre las hileras. Las parcelas fueron pastoreadas por 4-5 días con 1-2 meses de descanso. El C total del sistema (parte aérea y subterránea) fue de 12,5 Mg C ha⁻¹ en SSP y 3,5 Mg C ha⁻¹ en los controles de pastos sin árboles (Andrade et al. 2008).

El proyecto GAMMA del CATIE evalúa actualmente el balance de GEI en fincas ganaderas en Costa Rica para desarrollar SSP carbono-neutrales. En el Pacífico seco de Costa Rica han demostrado que fincas ganaderas podrían mitigar entre 2,2 y 10,6 toneladas de CO₂e¹ por ha con la incorporación de SSP. Las buenas prácticas de manejo de los SSP y a nivel de finca, incluyendo uso de vermicompost, biogas, ensilaje y protección de bosques también contribuyen a la absorción de CO₂ (GAMMA 2010).

Los SSP basados en animales rumiantes son fuentes de GEI, y la compactación y erosión provocan pérdidas adicionales de C y N del suelo. A pesar de ser temas en controversia por sus impactos ambientales, la ganadería es parte de la economía rural, por lo cual es importante diseñar y manejar sistemas como los SSP que compensen emisiones del sistema mismo y aún de afuera del sistema, adaptados a las condiciones particulares de cada región.

En el Cuadro 1 se muestran para clima Af, SSP de árboles plantados en pasturas con valores de acumulación de C en biomasa aérea de 13-58 Mg C ha⁻¹, y en SSP de pasturas con árboles residuales de bosque, con valores de 19-74 Mg C ha⁻¹. Esto quizás sugiere que los árboles residuales de bosque presentes en las pasturas pueden alcanzar mayor biomasa que los plantados en las pasturas, aunque por supuesto esto dependerá de la especie y la edad de los árboles. Para climas estacionales, hay datos de SSP de bancos forrajeros con valores bastante menores (2-7 Mg C ha⁻¹), debido a que en estos sistemas los arbustos forrajeros se podan para facilitar el ramoneo por los animales (Cuadro 1). Muchos SSP, tales como los sistemas silvopastoriles intensivos (Murgueitio et al. 2011), incluyen bancos forrajeros en los cuales también hay árboles de bosques o plantados, los cuales aumentan la captura de C total del sistema (Montagnini et al. 2013). En clima subtropical, datos de Misiones, Argentina muestran valores mayores de acumulación de C en SSP de árboles plantados, 51 a 92 Mg C ha⁻¹ (Cuadro 1). Estos SSP se basan en especies maderables seleccionadas y con buen manejo, que producen madera valiosa en establecimientos comerciales que a su vez perciben ingresos tanto por la madera como por los animales (Pinazo et al. 2007, Fassola et al. 2010).

2.4 Captura de C en biomasa subterránea

En los SAF, los cultivos anuales o perennes agregan cantidades significativas de raíces al suelo, en comparación con una plantación forestal o con un bosque natural. Los árboles de plantaciones o bosques pueden tener raíces estructurales profundas y generalmente poseen cantidades relativamente menores de raíces superficiales, en comparación con pastos y cultivos agrícolas anuales, los cuales tienen la mayoría de sus raíces en la capa superficial del suelo (Vogt et al. 1997). Una excepción son los árboles de bosque lluvioso que crecen en sitios con suelos pobres como en algunos bosques del Amazonas, en zonas de ríos de “aguas negras” pobres en nutrientes, los cuales poseen gran cantidad de raíces superficiales, formando una mata o estera de raíces que aumenta la absorción de nutrientes. Las especies de cultivos agrícolas han sido seleccionadas para crecer rápido y ocupar el suelo con sus raíces superficiales, para tener acceso al agua y a los fertilizantes. Las especies de gramíneas usadas en pasturas generalmente colonizan el sitio de manera agresiva, por lo cual si no son controladas pueden volverse malezas, especialmente si se las deja crecer demasiado, o no son consumidas por el ganado. Sus raíces superficiales, y a veces sus rizomas, según las especies, pueden contribuir con cantidades sustanciales de materia orgánica al suelo.

¹ CO₂e es una medida métrica usada para comparar emisiones de varios GEI basado en su potencial para el calentamiento global.

El Cuadro 2 presenta datos de una revisión sobre C en biomasa aérea y de raíces en SAF en regiones tropicales y subtropicales. Por ejemplo, se observan los datos de Andrade et al. (2008) comparando C en raíces en SSP en Costa Rica con dos especies de pastos que crecen bajo tres especies de árboles. La mayor acumulación de C en raíces ($2,0-2,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$) fue encontrada en los SSP con el pasto *Brachiara brizantha*, una especie exótica muy productiva, ampliamente usada en el mundo, mientras que los menores valores ($1,5-2,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$) se hallaron en los SSP con *Hyparrhenia rufa*, especie de pasto de menor productividad. Ambas especies de pastos tuvieron mayor biomasa de raíces cuando estaban asociadas con árboles de *Dyphisa robinoides* que con las otras especies. Aparentemente, la fijación de nitrógeno por parte de los árboles favoreció el crecimiento de los pastos asociados (Andrade et al. 2008). Debe notarse que el C en árboles en estos SSP es bastante bajo ya que los árboles solamente tenían 4 años de edad, de manera que el cálculo de la relación raíz/tallos da valores relativamente altos (Cuadro 2).

En comparación con el SSP anterior, en plantaciones de pinos en Wanda, Misiones, Argentina, los árboles tenían ya 20 años, y en consecuencia la acumulación de C en troncos era relativamente alta (58 a casi 100 Mg C ha^{-1} dependiendo de la densidad de los árboles). Pinazo et al. (2007) calcularon el C en raíces basados en la relación raíz/tallos sugerida por IPCC (2006) de $0,32-0,38$ (Cuadro 2).

Las otras dos entradas de datos para SSP en el Cuadro 2 corresponden a Casanova et al. (2010) para bancos forrajeros de *Leucaena leucocephala* y de *Guazuma ulmifolia* de 6 años de edad, en Yucatán, México. En los bancos forrajeros los árboles y arbustos son plantados a altas densidades (10.000 a 15.000 tallos ha^{-1} o aún mayores en SSP intensivos) para aumentar la producción de forraje. En esas condiciones de alta densidad, las especies desarrollan abundantes raíces superficiales. Los valores de C en raíces reportados por Casanova et al. (2004) tienen rangos similares a los revelados por Andrade et al. (2008). La relación raíz/tallo calculada fue de $0,78$ y $0,41$ respectivamente para los SSP de bancos forrajeros con *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia*, similares a los valores calculados por Andrade et al. (2008; Cuadro 2).

Los datos de C en raíces presentados por Oelbermann et al. (2004) para cultivos en callejones parecen bastante altos con 29 Mg C ha^{-1} , aunque hay que tener en cuenta que este SAF tenía ya 10 años de edad (Cuadro 2). Una relación raíz/tallo cercana a 1 podría ser correcta para cultivos en callejones, ya que la proliferación de raíces del cultivo es favorecida por la mayor disponibilidad de nitrógeno fijado por los árboles asociados. Además, muchos sistemas de cultivos en callejones son fertilizados, ya que son promovidos en áreas donde la fertilidad del suelo es demasiado baja como para permitir el crecimiento de los cultivos anuales, al menos inicialmente, hasta que se establecen bien los árboles asociados. La fertilización favorece al cultivo, el cual desarrolla mayor crecimiento de raíces.

Los SAF con café en Cuadro 2 tenían de 6 a 10 años de edad, con acumulación de C en los árboles de sombra de 14 a 21 Mg C ha^{-1} . Para estos sistemas, la relación raíz/tallo calculada fue de $0,58$ a $0,76$.

A pesar de la variabilidad de los datos presentados es evidente que el uso de la relación raíz/tallo de $0,2$ a $0,3$ comúnmente utilizada en estimaciones de C en raíces resulta bajo. Sería necesario aumentar el valor de la relación raíz/tallo usada por la mayoría de las herramientas de monitoreo del C a valores de al menos $0,5$ para tener en cuenta el aporte de los cultivos anuales y perennes usados en los SAF.

Cuadro 2. Acumulación de C en biomasa aérea (árboles), biomasa subterránea (raíces) y relación raíz/ tallo para diferentes tipos de SAF.

País	Sitio	Sistema Agroforestal		C en biomasa aérea (árboles)	C en biomasa subterránea (raíces)	Relación Raíz/ Tallo	Fuentes
		Categoría	Subcategoría	Acumulación de C (Mg ha ⁻¹)	Acumulación de C (Mg ha ⁻¹)		
Argentina	Wanda	Silvopastoril	Arboles plantados	91,8	29,6	0,32	Pinazo et al. 2007
Argentina	Wanda	Silvopastoril	Arboles plantados	51,5	19,4	0,38	Pinazo et al. 2007
Costa Rica	Cañas	Silvopastoril	Arboles plantados	0,5	2	4,00	Andrade et al. 2008
Costa Rica	Cañas	Silvopastoril	Arboles plantados	3,2	2,1	0,66	Andrade et al. 2008
Costa Rica	Cañas	Silvopastoril	Arboles plantados	6,3	2,6	0,41	Andrade et al. 2008
Costa Rica	Cañas	Silvopastoril	Arboles plantados	1,5	1,5	1,00	Andrade et al. 2008
Costa Rica	Cañas	Silvopastoril	Arboles plantados	1,2	1,4	1,17	Andrade et al. 2008
Costa Rica	Cañas	Silvopastoril	Arboles plantados	6,6	2,5	0,38	Andrade et al. 2008
Costa Rica	CATIE	Cultivos anuales	Cultivos en callejones	30	29	0,97	Oelbermann et al. 2004
Costa Rica	San Pedro Barva	Cultivos perennes	Café con árboles plantados	13,9	8,1	0,58	Hergoualc'h et al. 2012
Costa Rica	Turrialba	Cultivos perennes	Café con árboles plantados	21,3	14	0,66	Mena et al. 2011
Costa Rica	Turrialba	Cultivos perennes	Café con árboles plantados	15	11	0,73	Mena et al. 2011
México	Xamatkuil	Silvopastoril	Bancos forrajeros	5,2	4,05	0,78	Casanova et al. 2010
México	Xamatkuil	Silvopastoril	Bancos forrajeros	7,35	3,05	0,41	Casanova et al. 2010
Panamá	Ipetí-Emberá	Multiestrato	SAF indígenas	71,9	18,35	0,26	Kirby and Potvin 2007

3. ACUMULACIÓN DE C EN SUELOS EN SAF

En el mundo, los suelos, dependiendo del ecosistema y clima de la región de que se trate, contienen tanto o más C que la vegetación que crece sobre ellos, de manera que el carbono orgánico del suelo (COS) juega un papel crucial en el ciclo global del C (Lal 2005). Las técnicas que aumentan la toma y conservación del COS y evitan la erosión tales como las utilizadas en “agricultura alternativa,” en sistemas orgánicos, y en SAF tienen efectos positivos sobre la mitigación del CC (Lal 2005).

Estimaciones del COS almacenado por los SAF dan valores de 30 a 300 Mg C ha⁻¹ en estudios realizados hasta 1 m de profundidad en el suelo (Nair et al. 2010). Para los SSP se dan valores de 6,9 a 24,2 Mg C ha⁻¹ en regiones templadas y de hasta 130 a 173 Mg C ha⁻¹ en regiones tropicales, sin embargo estas cifras dependen de la profundidad de muestreo del suelo y de los métodos utilizados para el análisis del COS (Nair et al. 2010).

3.1 Acumulación de C en suelos en SAF

La acumulación de C en suelos ocurre cuando se utilizan prácticas de manejo del suelo que son comunes en diversos tipos de SAF, las cuales están dirigidas a lograr lo siguiente:

- Disminuir la temperatura del suelo, tal como el uso de mantillo (mulch) o la sombra
- Aumentar la fertilidad (ej., con especies fijadoras de N)
- Lograr una mejor aireación (menores perturbaciones, menor labranza).

La dinámica del C orgánico del suelo (COS) luego de la conversión de bosque tropical a agricultura y otros usos de la tierra, sirve para entender el potencial para recuperar COS por medio del uso de prácticas adecuadas. La pérdida de COS debida a la conversión de un tipo de uso de la tierra a otro es equivalente a la capacidad del suelo para acumular C, tanto en el tamaño del reservorio de COS, como en su tasa de aumento. Dicha tasa depende del punto de referencia, con mayores tasas de aumento en suelos muy degradados (Lal 2004, 2005).

En general los SAF, incluyendo los SSP, tienen mayor potencial para la captura de COS que las pasturas convencionales (Lal 2004, Montagnini y Nair 2004, Nair et al. 2010). Los SAF tienen tasas de aumento de COS intermedias entre las de plantaciones arbóreas convencionales y las de agricultura con labranza mínima (Lal 2005, Nair et al. 2009).

En nuestras investigaciones recientes sobre el crecimiento y adaptabilidad de especies nativas en la Estación Biológica La Selva, en Costa Rica, se muestrearon los suelos para comprobar si los árboles nativos contribuían a su restauración y a la toma de COS. Fueron comprobados los efectos tempranos: a los 3 años de edad, en los primeros 15 cm el COS había aumentado bajo los árboles, alcanzando valores de 2,25-3,3% según las especies, mientras que en las pasturas degradadas el COS fue de 2,4%, y en un bosque secundario de 20 años de edad, adyacente, fue similar a lo encontrado bajo los árboles, 3,7%. Los mayores valores de COS se hallaron bajo la copa de *Vochysia ferruginea*, que fue la especie que produjo la mayor cantidad de hojarasca. En estos sistemas, el ganado se alimenta

de pastos que crecen de manera natural. Dado el potencial de estos SSP para acumular C tanto en partes aéreas como subterráneas, deberían fomentarse, diseñando SSP que incluyan otros forrajes más productivos y que estén bien adaptados a su combinación con estas especies de árboles nativos (Montagnini y Finney 2011).

3.2 Fracciones de COS estables y lábiles

El C estable del suelo representa un reservorio de C a largo plazo (un “sink”), mientras que el C lábil es el que tiene posibilidad de ser liberado en un plazo corto o mediano. Es importante tener en cuenta los mecanismos que controlan la estabilización y la liberación del COS si se espera que el C almacenado se conserve a largo plazo. Estos mecanismos pueden incluir:

1. Protección física del COS por oclusión dentro de agregados del suelo.
2. Protección química por interacción con superficies minerales o con otras moléculas orgánicas.
3. Preservación de compuestos orgánicos recalcitrantes, debido a su composición elemental y conformación molecular.

La protección física o por formación de complejos organo-minerales es más importante que la resistencia del COS debido a su composición química (Gama-Rodrigues et al. 2010, Nair et al. 2010, Nair 2012). Muchas prácticas de manejo de suelos en SAF pueden dar como resultado mejoras en la estructura del suelo, con una redistribución de clases de tamaño de los agregados, la cual lleva a un aumento de la cantidad de macro-agregados grandes. El aumento del tamaño de los agregados a su vez disminuye el riesgo de erosión, contribuyendo así a la estabilidad del COS acumulado y a una mayor sostenibilidad del sistema (Mutuo et al. 2005).

Para entender mejor el proceso de almacenamiento del COS, se han realizado estudios enfocados en el COS de los diferentes agregados del suelo (Nair et al. 2009, 2010). Las metodologías incluyen la separación del suelo en clases de agregados de diferentes tamaños, en determinaciones de laboratorio adecuadas al tipo de suelo que se está estudiando (Gama-Rodrigues et al. 2010, Mutuo et al. 2005). Por ejemplo, en un estudio sobre fracciones lábiles y estables de COS en SAF en Kenia, en barbechos mejorados que fueron plantados con *Crotalaria*, el COS fue mayor en macroagregados, con solamente pequeños aumentos en meso y en micro agregados (Mutuo et al. 2005).

En otro estudio sobre el almacenamiento de C en suelos en SAF con cacao y en bosque natural en Bahía, Brasil, el sistema de cacao “cabruca,” en el cual el cacao es cultivado bajo dosel de bosque natural, tuvo significativamente mayor almacenamiento de C en la fracción de mayor tamaño, a 0-10 cm de profundidad (Gama-Rodrigues et al. 2010). Los dos sistemas estudiados de SAF con cacao (cacao en cabruca y cacao con el árbol fijador de N *Erythrina*) tuvieron mayor almacenamiento de C en la fracción de macro-agregados, que en bosque natural. Considerando el bajo nivel de disturbios en el suelo en los sistemas de SAF de cacao, es posible que el C contenido en la fracción de macro-agregados permanezca de manera estable en el suelo. Los autores concluyen que este estudio muestra el papel que pueden cumplir los SAF de cacao en mitigar emisiones de GEI a través de la acumulación y retención de altas cantidades de COS, y sugiere el beneficio de este servicio ambiental para los casi seis millones de agricultores de cacao del mundo (Gama-Rodrigues et al. 2010).

3.3 Efectos del manejo orgánico sobre el COS

En SAF bien diseñados y manejados de acuerdo con el sitio, los árboles pueden proveer suficiente biomasa y nutrientes como para que no sea necesario usar fertilizantes químicos, lo que hace factible el manejo orgánico con sus ventajas económicas y ambientales (Montagnini et al. 2011, Eibl et al. este volumen, Virginio Filho et al. este volumen). La diversidad de especies en los SAF puede resultar en menor incidencia de enfermedades y plagas, de manera que no sea necesario el uso de pesticidas químicos (Rapidel et al. este volumen). Los productos de la agricultura orgánica tienden a obtener mejores precios en los mercados locales e internacionales, lo cual muchas veces compensa por el trabajo o las dificultades involucradas en la agricultura orgánica. Muchos pequeños agricultores no pueden afrontar el precio de los agroquímicos, y el SAF orgánico es una alternativa para mantener una productividad aceptable y mejores precios.

Con el manejo orgánico a menudo es necesario el uso de enmiendas para el suelo en forma de compost y otros materiales que tienden a aumentar el C orgánico del suelo (COS), con el consiguiente beneficio en términos de contribuir a la mitigación del cambio climático. El CATIE mantiene un proyecto desde el año 2000 con el objetivo de diversificar las especies de árboles de sombra en SAF de café y comparar su manejo convencional y orgánico (Virginio Filho et al. este volumen). En investigaciones sobre la influencia de la sombra y el manejo sobre el COS cuando estos SAF tenían 8 años de edad, los resultados mostraron diferencias significativas entre el manejo orgánico y el manejo convencional con el café a pleno sol (Cowart 2011; Cuadro 3).

Se encontró un aumento en el COS total, cuando el manejo cambiaba de convencional intensivo, pasando por convencional moderado y llegando a orgánico intensivo. La especie de árbol de sombra no se correlacionó positivamente con el COS, lo cual sugiere que en este experimento el efecto del manejo sobre el COS se relaciona más con el tipo de enmiendas orgánicas utilizado que con la especie de árbol asociado al café. Un menor uso de fertilizantes y herbicidas con el aumento de insumos orgánicos resultaron en un aumento en el COS, especialmente en la fracción gruesa o macroagregados del suelo (Cowart 2011). Esto indica el potencial del manejo orgánico de los SAF para aumentar el COS, lo que provee numerosos beneficios al suelo, al mismo tiempo que contribuye a reducir los niveles de C atmosférico.

Cuadro 3. Porcentaje de C total del suelo a los 30 cm de profundidad, en SAF de café y en café bajo sol, según especie de árbol para sombra y tipo de manejo, en CATIE, Turrialba, Costa Rica. Las diferencias entre promedios son estadísticamente significativas cuando éstos son seguidos por letras diferentes (Tukey, $p < 0.05$). Fuente: Cowart (2011).

Tratamiento		% Carbono Total	
Especie de árbol	Manejo	Promedio	Error estándar
<i>Chloroleucon eurycyclum</i> (<i>Abarema idiopoda</i>)	Convencional moderado	5,31b	0,18
	Orgánico intensivo	6,72a	0,29
<i>Erythrina poeppigiana</i>	Convencional intensivo	5,44b	0,84
	Convencional moderado	5,60b	0,24
	Orgánico intensivo	6,77a	0,45
<i>Terminalia amazonia</i>	Convencional intensivo	4,92b	0,30
	Convencional moderado	5,54b	0,87
	Orgánico intensivo	6,45a	0,44
Pleno sol	Convencional intensivo	5,57b	0,40
	Convencional moderado	5,90a	0,80

4. MONITOREO DE LA CAPTURA Y ACUMULACIÓN DE CARBONO EN SAF

4.1 Ecuaciones alométricas para especies utilizadas en SAF

Debido al interés creciente en los proyectos de carbono y a la necesidad de estimar la contribución de diferentes usos de la tierra con referencia a sus funciones como emisores o acumuladores de C, numerosos trabajos han sido realizados recientemente, para evaluar la cantidad de biomasa y C de los diversos componentes de los sistemas. Basadas en mediciones de campo de diámetro, altura y cosecha de biomasa de los componentes arbóreos, han sido desarrolladas ecuaciones alométricas que permiten realizar los cálculos de biomasa y C sin necesidad de cosechar los árboles.

En el Cuadro 4 se muestran ecuaciones alométricas para especies utilizadas en SAF, que han sido plantadas, ya que en estos casos las edades son conocidas, en comparación con especies de bosque donde las edades muchas veces no son precisas. Se muestran ecuaciones para troncos, ya que es la parte de la biomasa que almacena C a más largo plazo, aunque en algunos de los artículos se presentan ecuaciones para biomasa total. Para usar estas ecuaciones, conviene tener en cuenta el sitio donde se han realizado las mediciones que resultaron en su formulación, ya que el sitio influye fuertemente en la productividad y por ende en la biomasa producida. Asimismo debe tenerse en cuenta la edad de los árboles o sistemas analizados. En los artículos originales los autores según los casos discuten detalles como el uso de diferentes factores de forma aplicados para el cálculo del volumen de los árboles, o presentan diferentes ecuaciones para otras edades de las mismas especies.

Para Costa Rica se han desarrollado ecuaciones alométricas para árboles nativos frecuentemente utilizados en proyectos de reforestación y SAF (Montero y Montagnini 2005). En Misiones, Argentina, existen ecuaciones alométricas para especies usadas en SAF de yerba mate con especies maderables, así como para otras especies arbóreas (López 2010, López este volumen, Eibl et al. 2012; Cuadro 4).

4.2 Herramientas para el monitoreo de la captura de C

Existe una variedad de herramientas disponibles para el cálculo de captura de C y de la cantidad de carbono en biomasa y suelos, que pueden ser utilizadas para ecosistemas de bosques, plantaciones forestales y SAF. Por ejemplo, la Agencia de Desarrollo Internacional de los EE. UU. (USAID) utiliza para los proyectos financiados por ellos herramientas con hojas de cálculo sencillas. Con datos del proyecto, localización geográfica, y su área de cobertura, se obtiene la cantidad de C capturada por los diferentes usos de la tierra, incluyendo bosques, plantaciones y SAF (Casarim et al. 2010).

Personal del CATIE y otras instituciones de investigación usan el modelo CO₂FIX v.3 (www.efi.gi/projects/casfor) para calcular el C en todos los compartimentos (vegetación, suelos) de ecosistemas forestales o de SAF. En CO₂FIX, el C almacenado en biomasa aérea es estimado con un modelo forestal que tiene en cuenta la competencia entre individuos arbóreos, su tasa de mortalidad, y otros cambios en la dinámica del bosque. CO₂FIX calcula el crecimiento en volumen de madera en m³ ha⁻¹ por año, y utiliza ecuaciones alométricas para llegar a datos de incremento anual de los principales componentes de la biomasa. Modela las transformaciones de cada componente, incluyendo hojarasca y raíces, según sus tasas de descomposición.

En CO₂FIX, el C del suelo es modelado usando datos sobre hojarasca y humus por medio de un modelo de C de suelos dinámico llamado YASSO, adaptado para CO₂FIX. En YASSO, las entradas de C al suelo son derivadas del módulo de la vegetación de CO₂FIX, usando una secuencia de pasos anuales. Esto contribuye al cálculo de la adicionalidad de un sistema, en referencia a su impacto sobre el C del suelo, ya que calcula los flujos de C de la vegetación a los suelos, en lugar de medir las cantidades absolutas de C en el suelo (Maser et al. 2003).

La hoja de cálculo de FAO llamada “Ex-Ante Carbon-Balance Tool” (EX-ACT), disponible en internet (<http://www.fao.org/tc/exact/pagina-principal-de-ex-act/es/>), fue desarrollada para proveer medidas ex-ante sobre el impacto de proyectos de agricultura y de desarrollo forestal sobre las emisiones de GEI y la captura de C, indicando sus efectos potenciales a futuro sobre el balance del C. La herramienta es muy sencilla, con hojas de cálculo que contienen opciones para llenar los datos de la descripción de un proyecto, características de clima, suelos, usos de la tierra, etc. El resultado es expresado en C indicando si el sistema almacena o emite Gases de Efecto Invernadero (GEI).

La Rainforest Alliance ha desarrollado una metodología para calcular C en SAF de café, especialmente para América Central. Para la cuantificación del C usa una metodología llamada “AR-AMS0004 – Metodología simplificada de línea de base y monitoreo para agroforestería de pequeña escala – actividades de aforestación y reforestación bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio”² o “Simplified Agroforestry Methodology” (SAM; Rainforest Alliance 2009). La guía, desarrollada por la Rainforest Alliance, incluye la planificación de los proyectos de C, diseño, manejo y los aspectos del mercadeo del C.

El Global Environmental Facility (GEF) tiene una herramienta llamada “Climate Change Mitigation Tracking Tool” la cual es requerida para todos sus proyectos. La herramienta está disponible en internet (http://www.thegef.org/gef/tracking_tool_CCM). El GEF apoya proyectos de mitigación de cambio climático, principalmente para evitar o reducir emisiones de GEI. Para el cálculo de emisiones (ton de CO₂eq por hectárea por año), usan los valores estipulados por IPCC (IPCC 2006).

Como se ha visto, el tipo de herramienta a utilizar puede depender de la agencia o entidad financiadora, así como de los objetivos precisos de los proyectos. Por ejemplo, CO₂FIX es una herramienta adecuada para proyectos de investigación ya que proporciona información sobre tasas y reservorios que pueden ser útiles para la planificación y la interpretación de los resultados. Por otro lado si el énfasis está en la mitigación y quizás en la venta de créditos de C, la herramienta de FAO o la de Rainforest Alliance pueden ser más adecuadas. Debe notarse que en todos los casos las herramientas están siendo mejoradas o actualizadas por las respectivas entidades que los diseñan. En todos los casos, el uso de ecuaciones alométricas para cálculo de biomasa y C de las especies participantes en los proyectos es clave para lograr su mayor precisión en los cálculos.

² Traducción del autor, para el inglés original vea la cita bibliográfica.

Cuadro 4. Ecuaciones alométricas para especies utilizadas en sistemas agroforestales en América Latina. ALT = altura total, DAP = diámetro a la altura del pecho, PS = peso seco.

Especies	Edad (años)	Ecuación Alométrica	Tipo
Nombre			
<i>Araucaria angustifolia</i>	20-40	PS = 635,3 + 32,30 * DAP ² * ALT	Tronco
<i>Araucaria angustifolia</i>	20-40	PS = -41,71 + 0,565 * DAP ²	Total
<i>Balizia elegans</i>	8	ln(Biomasa) = -4,491 + 2,672 * ln(DAP)	Tronco
<i>Calophyllum brasiliense</i>	8	ln(Biomasa) = -2,570 + 2,454 * ln(DAP)	Tronco
<i>Coffea arabica</i>	>20	Y = 0,2811D ₂ 0,635	Total
<i>Cordia alliodora</i>		Log ₁₀ (BA) = -0,755 + 2,702 * log ₁₀ (DAP(cm))	Total
<i>Dipteryx oleifera</i>	8	ln(Biomasa) = -2,831 + 2,747 * ln(DAP)	Tronco
<i>Euterpe oleracea</i>	10-14	PS = exp(-0,0470 + 0,075 * DAP)	Tronco
<i>Gliricidia sepium</i>	5-8	ln(PS) = -3,5795 + 2,5728 * ln(Diámetro Basal) ²	Total
<i>Gliricidia sepium</i>	5-8	ln(PS) = -3,7067 + 2,4567 * ln(Diámetro Basal) ²	Tronco
<i>Guazuma crinite</i>		PS = 0,0423 * (DAP * 2,6514)	Total
<i>Hevea brasiliensis</i>	10-14	C = exp(-4,07305 + 1,63781 * ln(DAP) + 1,21724 * ln(ALT))	Tronco
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	8	ln(Biomasa) = -3,136 + 2,591 * ln(DAP)	Tronco
<i>Ilex paraguariensis</i>	4-35	PS = -20,255 + 0,8081 * edad + 3,9672 * ALT + 3,6923 * Biomasa Foliar	Total
<i>Inga punctata</i>		Log ₁₀ (BA) = -0,889 + 2,317 * log ₁₀ (DAP(cm))	Total
<i>Inga tonduzzi</i>		Log ₁₀ (BA) = -0,936 + 2,348 * log ₁₀ (DAP(cm))	Total
<i>Jacaranda copaia</i>	8	ln(Biomasa) = -3,581 + 1,804 * ln(DAP)	Tronco
<i>Juglans olanchana</i>		Log ₁₀ (BA) = -1,417 + 2,755 * log ₁₀ (DAP(cm))	Total
<i>Leucaena leucocephala</i>	2-5	ln(PS) = -2,9836 + 2,0428 * ln(Diámetro Basal) ²	Tronco
<i>Leucaena-KX2</i>		PS = 0,30 * D ₂ 2,25	Total
<i>Musa spp.</i>		Y = 0,0303D ₂ 1,345	Total
<i>Musa spp.</i>	10-14	PS = 0,3381 * exp(0,1928 * DAP)	Total
Palmas		Y = 10 + 6,4 * ALT	Total
Palmas		PS = 4,5 + 7,7 * ALT	Total
<i>Pinus taeda</i>	13	ln(Biomasa del Tallo) = -4,91 + 3,04 * ln(DAP)	Tronco
<i>Tabebuia heptaphylla</i>	16	ln(PS) = -1,701 + 2,270 * ln(DAP)	Tronco
<i>Tectona grandis</i>	10-14	PS = 0,153 * DAP * 2,382	Total
<i>Terminalia amazonia</i>	8	ln(Biomasa) = -2,473 + 2,501 * ln(DAP)	Tronco
<i>Theobroma cacao</i>	10-14	PS = 3,3973 * DAP - 4,8961	Total
<i>Theobroma cacao</i>		PS = 0,4849 * (DAP * 1,42)	Total
<i>Theobroma grandiflorum</i>	10-14	PS = 4,1194 * DAP - 5,7818	Total
<i>Virola koschnyi</i>	8	ln(Biomasa) = -3,679 + 2,481 * ln(DAP)	Tronco
<i>Vochysia ferruginea</i>	8	ln(Biomasa) = -1,776 + 1,804 * ln(DAP)	Tronco
<i>Vochysia guatemalensis</i>	8	ln(Biomasa) = -3,867 + 2,048 * ln(DAP) + 0,697 * ln(ALT)	Tronco

Sistema Agroforestal	País	Sitio	Fuentes de Información
Cultivos perennes	Argentina	Misiones	Fernández Tschieder et al. 2004
Cultivos perennes	Argentina	Misiones	Fernández Tschieder et al. 2004
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005
Cultivos perennes	México	Chiapas	Soto-Pinto et al. 2010
Cultivos perennes	Nicaragua	Yassica Sur	Segura et al. 2006
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005
Multiestrato	Brasil	Tome Azú, Pará	Brancher 2010
Silvopastoril	Venezuela	San Javier, Yaracuy	Messa Arboleda 2009
Silvopastoril	Venezuela	San Javier, Yaracuy	Messa Arboleda 2009
Silvopastoril	Perú	Yurimaguas	REALU II 2012
Multiestrato	Brasil	Tome Azú, Pará	Brancher 2010
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005
Cultivos anuales	Brasil	Rio Grande do Sul	Alegre et al. 2007
Cultivos perennes	Nicaragua	Yassica Sur	Segura et al. 2006
Cultivos perennes	Nicaragua	Yassica Sur	Segura et al. 2006
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005
Cultivos perennes	Nicaragua	Yassica Sur	Segura et al. 2006
Silvopastoril	Venezuela	San Javier, Yaracuy	Messa Arboleda, 2009
Cultivos perennes	Estados Unidos	Hawaii	Youkhana y Idol 2011
Cultivos perennes	México	Chiapas	Soto-Pinto et al. 2010
Multiestrato	Brasil	Tome Azú, Pará	Brancher 2010
Cultivos perennes	México	Chiapas	Soto-Pinto et al. 2010
Silvopastoril			Ibrahim et al. 2007
Silvopastoril	Argentina	Misiones	Fassola et al. 2010
Cultivos perennes	Argentina	Misiones	López 2012
Multiestrato	Brasil	Tome Azú, Pará	Brancher 2010
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005
Multiestrato	Brasil	Tome Azú, Pará	Brancher 2010
Multiestrato	Perú	Yurimaguas	REALU II 2012
Multiestrato	Brasil	Tome Azú, Pará	Brancher 2010
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005
Silvopastoril	Costa Rica	Sarapiquí	Montero y Montagnini 2005

5. APLICACIONES DE LOS SAF EN PROYECTOS REDD+

Una ventaja adicional de los SAF con respecto a la mitigación del CC es que pueden evitar la deforestación al proveer productos maderables en tierras ya deforestadas, convirtiéndose en una herramienta importante para los programas de REDD+. Con respecto a la mitigación, los SAF pueden cumplir dos funciones: en los SAF que son establecidos en tierras deforestadas (donde se añaden árboles al sistema) es claro que la mitigación está ocurriendo al reemplazar un uso de la tierra sin árboles por otro que incluye árboles y otros componentes, tales como cultivos perennes que toman carbono.

Por otro lado, en los SAF que se establecen bajo la sombra de bosques, tal como ocurre en algunos sistemas multiestrato tradicionales, donde se siembra cacao o café bajo bosque, la función de mitigación generalmente es menor, ya que en estos casos, para dar lugar al cultivo es necesario limpiar parte del sotobosque, y muchas veces se elimina hasta parte del dosel para disminuir la sombra o competencia excesivas. En estos casos, la función de mitigación, además de la absorción de carbono por parte de los cultivos perennes y los árboles remanentes, reside principalmente en evitar la deforestación, debido a que si no se utilizaran estos SAF posiblemente el agricultor eliminaría parte de un bosque para implantar sus cultivos. De manera que es preciso tener en cuenta estos diferentes estilos y sus implicaciones, para la mitigación y la evitación de la deforestación.

En proyectos REDD+, los SAF son frecuentemente implementados en la periferia de la zona núcleo donde se quiere proteger al bosque, para contribuir con beneficios nutricionales y productos forestales y agrícolas para las comunidades del proyecto. En Brasil y en Perú, varios proyectos REDD+ promueven SAF con especies perennes como cacao, café, frutales, palmas y otras especies asociadas con árboles de múltiples usos, para beneficiar a las comunidades que viven en zonas aledañas a los proyectos (REALU 2012, Silva et al. este volumen).

Por ejemplo, como parte del proyecto REALU (Reduciendo Emisiones de Todos los Usos de la Tierra), implementado a través de un acuerdo entre el programa de colaboración ASB (Alternativas a Roce y Quema) e ICRAF (Centro Mundial Agroforestal), se determinó el potencial de reducir emisiones de pequeños y medianos productores agrícolas, asociados a una cooperativa de cacao del Amazonas peruano (Silva et al. este volumen). Se presentaron a los productores distintas alternativas para enriquecer con carbono o conservar los bosques remanentes de la finca, se determinó la línea de base de emisiones y se simuló distintos escenarios de acuerdo con las preferencias de los productores por los distintos usos alternativos. El cultivo del cacao es el principal ingreso familiar y el que tuvo más interés fue el de enriquecer con especies maderables, mientras que evitar la deforestación de los bosques remanentes fue la actividad que generó el mayor potencial de reducción de emisiones (Silva et al. este volumen).

De acuerdo con estos autores, los proyectos REDD+ que toman en cuenta el mosaico agrícola, traen una serie de ventajas en cuanto a la posibilidad de trabajar en áreas degradadas y con procesos de deforestación activos, pero a la vez provocan una serie de complejidades debido a

la variabilidad de las características socioeconómicas de los productores, las dinámicas de las estrategias de vida, la forma en que se deciden las trayectorias de los distintos usos de la tierra y cómo estas decisiones tienen un impacto al nivel de paisaje. Por otra parte, no existen sistemas de certificación que contemplen una integración de los distintos usos encontrados en estas fincas, lo que aumenta los costos de transacción o disminuye el potencial al tener que enfocarse en actividades determinadas (Silva et al. este volumen).

En la Argentina se encuentran avanzadas formulaciones de varios proyectos REDD+. Para Misiones, los SAF de yerba mate son una de las opciones a utilizar en zonas circundantes a los bosques protegidos. Además del valor de los SAF en proveer beneficios a las comunidades, es necesario señalar su contribución en la captura de C. Para la estimación de captura de C por la yerba, se pueden utilizar ecuaciones alométricas para los arbustos de yerba mate tales como las desarrolladas por Alegre et al. (2007) (Cuadro 4). Sin embargo, en Brasil, los árboles de yerba mate son podados de manera diferente, alcanzando mayores tamaños que en las plantaciones de la Argentina. Sería recomendable desarrollar ecuaciones alométricas para yerbales de diferentes edades para las situaciones de sitios y manejo que se dan en la Argentina.

Para realizar los cálculos es necesario conocer las densidades de plantas de yerba mate, así como las de los árboles acompañantes. Por ejemplo, en Misiones un 15% de los productores tiene plantaciones de alta densidad (> 1.800 plantas de yerba ha^{-1}), 48% con densidad mediana ($1000-1800$ plantas ha^{-1}), y 30-35% tiene plantaciones de menor densidad. Con respecto a los árboles acompañantes, se estima que una densidad final de aproximadamente 100 árboles ha^{-1} es recomendable para obtener buenos efectos ambientales e ingresos financieros atractivos para los agricultores (Montagnini et al. 2011). Además de pino y araucaria, en Misiones especies nativas maderables o de otros usos son asociadas a la yerba mate, existiendo información sobre su productividad y silvicultura (Eibl et al. 2012, Eibl et al. este volumen). Con ecuaciones alométricas como las que se muestran en el Cuadro 4, se puede estimar valores totales de captura de C para los árboles de los SAF de yerba mate. Con ello se puede determinar el valor de mitigación del SAF, además de los beneficios económicos y sociales a las comunidades circundantes al proyecto REDD+.

Finalmente, cabe señalar que la incertidumbre en la disponibilidad de financiamiento a largo plazo es uno de los "cuellos de botella" que frecuentemente desaniman a los agricultores o a los promotores de los proyectos REDD+. Una de las estrategias para evitar la deforestación y la degradación de bosques pasa por involucrar al sector privado, según ha sido debatido recientemente en eventos organizados por el Programa de Colaboración de las Naciones Unidas para la Reducción de las Emisiones Debidas a la Deforestación y Degradación Forestal en Países de Desarrollo (UN-REDD, por sus siglas en inglés; <http://www.abc.com.py/edicion-impresalocales/planean-evitar-deforestacion-con-apoyo-del-sector-privado-1254142.html>). Los actores del sector privado pueden crear "un nuevo paradigma económico no extractivo y bajo en carbono, que será requisito para que REDD+ sea política, económica y socialmente viable". El sector privado puede contribuir en la inversión, innovación e implementación del programa que pretende evitar así la deforestación en el país. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se estima que son necesarios en países en desarrollo unos US\$ 83.000 millones anuales para incrementar la producción y garantizar la seguridad alimentaria (FAO 2014). La participación pública privada (PPP) es clave para el desarrollo de un modelo que beneficie a todos y en especial en la protección de los bosques para evitar así la deforestación.

CONCLUSIONES

Los SAF promueven resistencia para la adaptación a la variabilidad climática con la diversificación propia de estos sistemas, lo cual disminuye los riesgos y da más flexibilidad para cambiar hacia especies o variedades mejor adaptadas a las nuevas condiciones. Los SAF bien implementados y manejados pueden tener tasas de acumulación de C elevadas, y ser una herramienta efectiva para la M del CC. Los SAF con cultivos perennes tienen mayor potencial para la toma de C que los SAF con cultivos anuales. Cuando son bien diseñados y manejados, los SSP pueden compensar emisiones de GEI y hasta convertirse en sistemas de C neutral.

Una ventaja adicional de los SAF con respecto a la mitigación, es que pueden evitar la deforestación al proveer productos maderables en tierras ya deforestadas, convirtiéndose en una herramienta importante para los programas de REDD+. En el contexto de proyectos REDD+, mercados de C y programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), el C es un producto adicional que los agricultores pueden considerar al tomar decisiones de manejo o de usos alternativos de la tierra (Montagnini y Finney 2011). Programas de compensación tales como el PSA juegan un importante rol en promover sistemas de uso y manejo de la tierra que neutralicen emisiones de GEI y que contribuyan a mantener las formas de vida.

Tendencias actuales a nivel mundial abren nuevas oportunidades para los SAF como herramientas de AyM de CC (www.fao.org/climatechange/climate-smart). Los SAF son considerados sistemas claves en la tendencia actual de promoción de la transformación de la agricultura convencional en “agricultura climáticamente inteligente” (“climate-smart agriculture”), es decir, una agricultura que aumenta la productividad de manera sostenible, es resiliente (tiene capacidad de adaptación ante los diferentes impactos ambientales o antropogénicos), reduce/evita o disminuye los GEI (mitigación) y a la vez contribuye al logro de metas nacionales de seguridad alimentaria y desarrollo (FAO 2012).

La promoción de los SAF para objetivos de AyM de CC requiere herramientas que permitan la evaluación del potencial de los diferentes sistemas de uso de la tierra para la captura del C en las regiones de interés de los proyectos. La elección de la herramienta adecuada depende de los objetivos del proyecto, sean éstos de investigación o de mitigación y venta de bonos de carbono. En todos los casos, el uso de ecuaciones alométricas es fundamental para afinar y dar mayor precisión a las estimaciones de biomasa y carbono de los componentes de los SAF.

Programas gubernamentales y privados tienden a promover cambios de agricultura convencional hacia usos de la tierra productivos, sostenibles y de bajos insumos tales como los SAF, afirmando la importancia de los SAF en la diversificación de la producción, en moderar variables del microambiente, y en almacenar C en biomasa y suelos. Asimismo, los SAF debido a sus funciones múltiples de contribuir a la seguridad alimentaria, diversificar la producción y evitar la deforestación son instrumentos claves para programas tales como los de REDD+, especialmente para las zonas de amortiguamiento o periferia de las reservas de bosque que se quiere proteger.

BIBLIOGRAFÍA

- Afanador Ardila, A. 2008. Climate change adaptation in Latin American agriculture. Are agroforestry systems an alternative? Tesis MS. New Haven, CT, USA. Yale University, School of Forestry and Environmental Studies. 36 p.
- Alegre, JCL; Montoya Vilcahuaman, X; Correa, G. 2007. Geração da curva alométrica para avaliar as reservas de carbono em plantios de erva-mate, no sul do Brasil. Colombo, Embrapa Florestas, Boletim de pesquisa e desenvolvimento. 19 p.
- Andrade, HJ; Brook, R; Ibrahim, M. 2008. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil* 308:11-22.
- Baggio, AJ; Montoya Vilcahuamán, LJ; Correa, G. 2008. Arborização da cultura da erva-mate: aspectos gerais, resultados experimentais e perspectivas. EMBRAPA. Documento no. 161. 24 p.
- Beer, J; Bonnemann, A; Chavez, W; Fassbender, HW; Imbach, AC; Martel, I. 1990. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) or poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. V. Productivity indices, organic material models and sustainability over ten years. *Agroforestry Systems* 12:229-249.
- Brancher, T. 2010. Estoque e ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tome Azu, Amazonia Oriental. Tesis MS. Belem, Pará, Brasil, Universidad Nacional do Pará. 58p.
- Casanova, LF; Caamal, MJ; Petit, AJ; Solorio, SF; Castillo, CJ. 2010. Almacenamiento de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo en Xmatkuil, Yucatán. In: Ibrahim, M; Murgueitio, E. (Eds.). Sexto Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaría Sostenible, Panamá, Panamá. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Tech. Series No. 15. 32 p.
- Casarim, FM; Harris NL; Brown S. 2010. USAID Forest Carbon Calculator: Data and Equations for the Agroforestry Tool. USAID Cooperative Agreement No. EEM-A-00-06-00024-00. Arlington, USA, Winrock International. 14 p.
- Chait, C. Café en Colombia: Servicios ecosistémicos, conservación de la biodiversidad. Este volumen.
- Cifuentes Jara, M. 2010. ABC del cambio climático en Mesoamérica. Serie Técnica. Informe Técnico del CATIE No. 383. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 71 p.
- Cowart, M. 2011. Shade and management effects on soil carbon fractions in organic and conventional coffee agroforestry systems in Costa Rica. Tesis MS. New Haven, CT, USA, Yale University, School of Forestry and Environmental Studies. 18 p.
- Eibl, BI; Barth, SR; Montagnini, F. 2012. Adaptabilidad y crecimiento de especies nativas en áreas degradadas de la provincia de Misiones. Actas, XV Jornadas Forestales y ambientales, Facultad de Ciencias Forestales (FCF), Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Montecarlo. [Eldorado, Misiones, Argentina, Junio 2012].
- Eibl, B.; Montagnini, F.; López, M.; Montechiesi, R.; Barth, S. *Ilex paraguariensis* (yerba mate) orgánica bajo dosel de especies nativas maderables, una propuesta de producción sustentable. Este volumen.
- FAO (Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010. "Climate-Smart" Agriculture. Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation (en línea). Disponible En: <http://www.fao.org/docrep/013/i1881e/i1881e00.pdf>

- FAO. 2012. Moving forward with Climate-smart agriculture (en línea). Disponible *En:* www.fao.org/climatechange/climate-smart.
- FAO. 2014. Informe de prensa 1-15 Junio. Planean evitar deforestación con apoyo del sector privado. Infosylva No. 11. Disponible *En:* <http://www.fao.org/forestry/41100-025e2009301af56a-90328d3a9aee31727.pdf>
- Fassola, HE; Crechi, EH; Barth, SR; Keller, AE; Winck, RA; Martiarena, R; Von Wallis, A; Pinazo, M; Knebel, O. 2010. Modelos regionales de biomasa aérea de *Pinus taeda* para Misiones y NE de Corrientes, Argentina. 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Montecarlo, INTA. [Eldorado, Misiones, Argentina, 10-12 jun. 2010]
- Fernández Tschieder, E; Martiarena, R; Goya, J.; Lupi, A; Frangi, J. 2004. Ajuste de ecuaciones para la determinación de la biomasa de plantaciones de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze en el norte de la provincia de Misiones. 11as Jornadas Técnicas Forestales. FCF, UNaM, INTA Montecarlo. [Eldorado, Misiones, Argentina, oct. 2004].
- Francesconi, W; Montagnini, F. Los SAF como estrategia para favorecer la conectividad funcional del paisaje fragmentado. Este volumen.
- Gama-Rodrigues, EF; Nair, PKR; Nair, VD; Gama-Rodrigues, AC; Baligar, VC; Machado, RCR. 2010. Carbon Storage in Soil Size Fractions Under Two Cacao Agroforestry Systems in Bahia, Brazil. *Environmental Management* 45(2):274-283.
- GAMMA (Programa de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente). 2010. Balance de gases efecto invernadero en fincas ganaderas de la región Chorotega, como elemento de referencia para mejorar la competitividad (en línea). Disponible *En:* <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00202.pdf>
- Hergoualc'h, K; Blanchart, E; Skiba, U; Hénault, C; Harmand, JM. 2012. Changes in carbon stocks and net balance of greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture and a coffee agroforestry system with *Inga densiflora* in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148:102-110.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- Ibrahim, M; Guerra, L. 2010. Análisis preliminar de los sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas Carbono neutral. *En:* Ibrahim, M; Murgueitio, E (Eds.). VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos. Resúmenes. Turrialba, Costa Rica: CATIE; CIPAV. 160 p. Serie técnica. Reuniones técnicas, CATIE no.15. p. 28.
- Ilany, T; Ashton, MS; Montagnini F; Martínez, C. 2010. Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. *Agroforestry Systems* 80(3):399-409.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. *In:* Eggleston, HS; Buendia, L; Miwa, K; Ngara, T; Tanabe, K. (Eds.). Vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Uses. Japan, National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies. 86 p. Disponible *En:* <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible *En:* www.ipcc.ch

- Jarvis, A; Ramírez, J; Laderach, P. 2010. Desafíos para la adaptación al cambio climático en el sector agropecuario y las oportunidades para la adopción de sistemas silvopastoriles. *In*: Ibrahim, M; Murgueitio, E. (Eds.). Resúmenes, VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible [Panamá, Panamá, 28-30 sept. 2010] Serie técnica (15). Turrialba, Costa Rica, CATIE, CIPAV. 160 p.
- Kirby, KR; Potvin, C. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* 246:208-221.
- Koskela, J; Nygren, P; Berninger, F; Luukkanen, O. 2000. Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls. *Tropical Forestry Report* 22. Helsinki, Finland, University of Helsinki, Department of Forest Ecology. 103 p.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Lal, R. 2005. Soil carbon sequestration in natural and managed tropical forest ecosystems. Pp. 1-30 *In*: Montagnini, F. (Ed.). *Environmental Services of Agroforestry Systems*. New York, USA, Haworth Press.
- López, LN. 2010. Biomasa y cantidad de carbono almacenado en *Tabebuia hepyaphylla*, en un sistema agroforestal con *Ilex paraguariensis*. Integradora II. Eldorado, Misiones, Argentina, FCF, UNaM. 31 p.
- Marlay, S. Evaluación del potencial de los proyectos agroforestales para lograr beneficios socioeconómicos y ambientales en zonas rurales de Haití. Este volumen.
- Masera, OR; Garza-Caligaris, JF; Kanninen, M; Karjalainen, T; Liski, J; Nabuurs, GJ; Pussinen, A; de Jong, BHJ; Mohren, GMJ. 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach. *Ecological Modelling* 164:177-199.
- Mena, VE; Andrade, HJ; Navarro, CM. 2011. Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Agroforestería Neotropical* 1:1-16.
- Mendelsohn, R; Dinar, A. 1999. Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter? *The World Bank Research Observer* 14:277-293.
- Messa Arboleda, HF. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 225 p.
- Montagnini, F. (Ed.). 1992. *Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos*. 2da Ed. San José, Costa Rica, Organización para Estudios Tropicales (OET). 622 p.
- Montagnini, F; Nair, PK. 2004. Carbon Sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
- Montagnini, F; Finney, C. 2011. Payments for Environmental Services in Latin America as a tool for restoration and rural development. *Ambio* 40:285-297.
- Montagnini, F; Eibl, B; Barth, SR. 2011. Organic yerba mate: an environmentally, socially and financially suitable agroforestry system. *Bois et Forêts des Tropiques* 308:59-74.
- Montagnini, F. 2012. Los sistemas agroforestales y su contribución para la mitigación y adaptación al cambio climático. Maracay, Venezuela, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, *Revista Alcance* 71:1-24.

- Montagnini, F; Ibrahim, M; Murgueitio Restrepo, E. 2013. Silvopastoral systems and mitigation of climate change in Latin America. *Bois et Forêts des Tropiques* 316(2):3-16.
- Montagnini, F; Metzler, R. Biodiversidad, manejo de nutrientes y seguridad alimentaria en huertos caseros mesoamericanos. Este volumen.
- Montero, M; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies forestales nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)* 45:118-125.
- Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, J. (Eds.). 2009. *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo*. 2da Ed. Cali, Colombia, Fundación CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Silvopastoriles de Producción Agropecuaria). 490 p.
- Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261(10):1654-63.
- Muschler, RG. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 85:131-139.
- Mutuo, PK.; Cadisch, G; Albrecht, A; Palm, CA; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 43–54.
- Nair, PKR; Kumar, BM; Nair, BD. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:10-23.
- Nair, PK; Nair, VD; Kumar, BM; Showalter, JM. 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Advances in Agronomy* 108:237-307.
- Nair, PKR. 2012. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry Systems* 86:243-253.
- Oelbermann, M; Paul Voroney, R; Gordon, AM. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:359-377.
- Ong, CK; Leakey, RRB. 1999. Why tree crop interactions in agroforestry appear at odds with tree-grass interactions in tropical savannahs. *Agroforestry Systems* 45:109-129.
- Ong, CK; Wilson, J; Deans, JD; Mulatya, J; Raussen, T; Wajja-Musukwe, N. 2002. Tree-crop interactions: manipulation of water use and root function. *Agricultural Water Management* 53:171-186.
- Pinazo, MA; Martiarena, RA; Von Wallis, A; Crechi, E; Pahr, NM; Knebel, O. 2007. Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de *Pinus taeda* L. establecida sobre Ultisoles de Misiones. Argentina, INTA, *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 36(1):5-20.
- Pinto, HS; Assad, ED; Zullo Jr., J; Brunini, O. 2002. O aquecimento global e a agricultura (en línea). *Mudanças Climáticas. Com Ciência* 34. Disponible En: <http://www.comciencia.br/>
- Rainforest Alliance. 2009. "AR-AMS0004 – Simplified baseline and monitoring methodology for small scale agroforestry systems – afforestation and reforestation project activities under the Clean Development Mechanism" Guidance on coffee carbon project development using the simplified agroforestry methodology (en línea). Disponible En: http://www.rainforest-alliance.org/climate/documents/coffee_carbon_guidance.pdf rainforest_alliance_coffee_carbon_guidance_v2_august_09.pdf
- REALU (Reducing Emissions from All Land Uses in Peru). 2012. *II Carbon Report Year 1*. Nairobi, Kenya, ICRAF (World Agroforestry Centre), ASB Partnership for the Tropical Forest Margins. Preliminary draft, January 2012. 7 p.

- Rapidel, B; Allinne, C; Cerdán, C; Meylan, L; Virginio Filho, E; Avelino, E. Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. Este volumen.
- Reutemann, G. 2009. Plantar árboles nativos en los yerbales ayuda a conservar el suelo y mejorar el rendimiento (en línea). Misiones OnLine. Disponible En: www.misionesonline.net
- Santibáñez, F; Santibáñez, P. 2007. Trends in Land Degradation in Latin America and the Caribbean, the Role of Climate Change. Pp 65-81 *In*: Sivakumar MK, M; Ndiang'ui, N. (Eds.). Climate and Land Degradation. Springer Berlin Heidelberg.
- Schroth, G; Laderach, P; Dempewolf, J; Philpott, S; Hagggar, J; Eakin, H; Castillejos, T; Garcia Moreno, J; Soto Pinto, L; Hernandez, R; Eitzinger, A; Ramirez-Villegas, J. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14:605-625.
- Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric Models for Estimating Aboveground Biomass of Shade Trees and Coffee Bushes Grown Together. *Agroforestry Systems* 68:143-150.
- Silva, F; Eibl, B; Bobadilla, A. 2008. Características climáticas de la localidad de Eldorado, Misiones, Argentina. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones, Argentina, FCF, UNaM, EEA Montecarlo, INTA.
- Silva Aguad, C; Robiglio, V; Donovan, J. Un enfoque de paisaje a los esquemas REDD+: la experiencia de reducir emisiones en distintos usos de la tierra con productores de cacao en el amazonas peruano. Este volumen.
- Somarriba, E; Beer, J; Alegre Orihuela, J; Andrade, H; Cerda, R; Declerck, F; Detlefsen, G; Escalante, M; Giraldo, LA; Ibrahim, M; Krishnamurthy, L; Menan, V; Mora-Delgado, J; Orozco, L; Scheelje, M; Campos, JJ. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. Pp. 429-453 *In*: Nair, PKR; Garrity, DP. (Eds.). *Agroforestry: the way forward*. New York, USA, Springer, *Advances in Agroforestry* 9.
- Soto-Pinto, L; Perfecto, I; Castillo-Hernández, J; Caballero-Nieto, J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 80(1-2):61-69.
- Soto-Pinto L; Anzueto, M; Mendoza, J; Jimenez Ferrer G; de Jong, B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 78:39-51.
- Steinfeld, H; Gerber P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; de Haasn C. 2006. *Livestock's long shadow. Environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome
- Verchot, LV; Van Noordwijk, M; Kandji, S; Tomich, T; Ong, C; Albrecht, A; Mackensen, J; Bantilan, C; Anupama, KV; Palm, C. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Global Change* 12:901-918.
- Virginio Filho, E; Casanoves, F; Hagggar, J; Staver, C; Soto, G; Avelino, J; Tapia, A; Merlo, M; Salgado, J; Noponen, M; Perdomo, Y; Vásquez, A. Productividad y servicios ambientales de café orgánico y convencional en sitio experimental de largo plazo en Costa Rica. Este volumen.
- World Bank. 2010. *Mainstreaming Sustainable Cattle Ranching*. Disponible En: <http://web.worldbank.org/external/projectsmain?Projectid=P104687&theSitePK=40941&piPK=64290415&pagePK=64283627&menuPK=64282134&Type=Overview>. Consultado 1 Noviembre 2010.
- Youkhana, AH; Travis, WI. 2011. Allometric Models for Predicting Above- and Belowground Biomass of *Leucaena-KX2* in a Shaded Coffee Agroecosystem in Hawaii. *Agroforestry Systems* 83:331-345.



Capítulo 13

UN ENFOQUE DE PAISAJE A LOS ESQUEMAS REDD+: LA EXPERIENCIA DE REDUCIR EMISIONES EN DISTINTOS USOS DE LA TIERRA CON PRODUCTORES DE CACAO EN EL AMAZONAS PERUANO

Claudia Silva Aguad¹, Valentina Robiglio¹ y Jason Donovan¹

¹ ICRAF Latin America, Av. La Molina 1895, Lima 12, Perú,

Correo electrónico: C.Silva@cgiar.org, Tel: (51-1) 3496021

RESUMEN

Como parte del proyecto REALU (Reduciendo Emisiones de Todos los Usos de la Tierra), implementado a través de un acuerdo entre el programa de colaboración ASB (Alternativas a Roce y Quema) e ICRAF (Centro Mundial Agroforestal), se determinó el potencial de reducir emisiones de pequeños y medianos productores agrícolas, asociados a una cooperativa de cacao del Amazonas peruano. Para determinar el potencial, se estimaron las características socioeconómicas de los productores a través de sus estrategias de vida y diversos capitales, se analizó la composición de la finca en cuanto a sus distintos sistemas de uso de la tierra y sus respectivas trayectorias o usos anteriores, y se midieron los contenidos de carbono de estos usos mediante sistemas no destructivos. Asimismo, en dos reuniones de grupo se presentaron distintas alternativas para enriquecer con carbono o conservar los bosques remanentes de la finca. Por último, se determinó la línea de base y mediante el software ABACUS se simuló distintos escenarios, de acuerdo con las preferencias de los productores por los distintos usos alternativos. El cacao es el principal ingreso familiar y el uso por el que se tuvo más interés de enriquecer con especies maderables, siendo así un interesante punto de entrada para trabajar con productores agrícolas. A su vez, evitar la deforestación de los bosques remanentes fue la actividad que generó el mayor potencial de reducción de emisiones. De la simulación de escenarios resultó que el mayor potencial se obtiene si se interviene de forma integrada en todos los usos de la tierra de la finca, alcanzando para un periodo de 30 años un potencial de reabsorción de 77.533,7 Mg CO₂eq a la atmósfera. Proyectos REDD+ que tomen en cuenta el mosaico agrícola traen una serie de ventajas en cuanto a la posibilidad de trabajar en áreas degradadas y con procesos de deforestación. Sin embargo, éstos provocan una serie de complejidades debido a la variabilidad entre las características socioeconómicas de los productores, las dinámicas que existen entre las estrategias de vida, la forma en que deciden las trayectorias de los distintos usos de la tierra y su impacto sobre el paisaje. Actualmente no existen sistemas de certificación que contemplen una integración de los distintos usos hallados en estas fincas, aumentando así los costos de transacción o disminuyendo el potencial al tener que enfocarse en actividades determinadas.





1. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2005, los mecanismos REDD, que proveen incentivos para evitar la deforestación y la degradación de los bosques, han emergido como un componente central de los esfuerzos coordinados por la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés). De acuerdo con este convenio, cinco tipos de intervención para la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera han sido aprobadas (par. 70 decisión 1/16; UNFCCC 2011): evitar la deforestación, evitar la degradación de bosques, conservar los stocks de carbono en los bosques, a través del manejo forestal sustentable, y aumentar los almacenamientos de carbono en bosque (REDD+).

El gobierno del Perú, en su Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático reporta que el 47,5% del total de emisiones de gases de efecto invernadero provienen del cambio de uso de suelos, en particular debido a la transición de bosques a áreas agrícolas y ganaderas (MINAM 2010). Con sus 68 millones de hectáreas de bosques en la parte oeste del Amazonas, Perú es el cuarto país del mundo en superficie de bosques tropicales (Ridder 2007). El país se involucró oficialmente en REDD en el año 2008 en la COP 14 en Poznan, cuando el recientemente creado Ministerio del Medio Ambiente (MINAM) comprometió al país a participar en los esfuerzos globales de mitigación al fijar una meta de “deforestación neta 0” para el año 2021.

Perú ha adoptado el enfoque anidado de REDD+, donde iniciativas sub-nacionales y locales se integran a la estrategia nacional. Debido a la todavía incierta negociación internacional sobre la validación de REDD+ y la también incierta arquitectura de REDD+ nacional, mecanismos basados en incentivos locales son útiles para explorar distintas estrategias que promuevan la conservación y usos de la tierra ricos en carbono. De esta manera, se integran los mecanismos REDD+ a los objetivos de desarrollo local y al cumplimiento de las políticas de manejo agrícola y forestal sustentable del país.

Entre los mayores problemas asociados a la deforestación en la Amazonia peruana se encuentra la expansión de la agricultura migratoria (Velarde y Ugarte-Guerra, 2010), donde los principales actores son pequeños y medianos productores. Este capítulo examina los resultados de un proyecto piloto que explora los distintos usos de la tierra en las fincas de productores localizados en la frontera de la deforestación en la provincia del Padre Abad. El objetivo es identificar intervenciones que resulten en la mitigación de los actuales procesos de deforestación y degradación, y que sean factibles para los productores que forman parte de la agricultura migratoria.

El trabajo está basado en un enfoque holístico hacia los proyectos REDD+ desarrollados por el programa ASB a través del proyecto REALU. Se reconoce que la contribución potencial a la mitigación de carbono en la atmósfera puede venir no sólo de la conservación de bosques legalmente reconocidos (REDD) sino también de su almacenamiento en tierras agrícolas. Este potencial es analizado aquí, a través de la asociación más grande de productores de cacao en la provincia, ACATPA (Asociación de Cacaoteros Tecnificados del Padre Abad), que cuentan con múltiples usos de la tierra en sus fincas, incluyendo distintos cultivos permanentes, cultivos anuales, tierras en descanso y bosques en diversos estados de degradación.



Cacao en SAF. Foto: F. Montagnini.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El ámbito del presente estudio se focaliza en la provincia del Padre Abad, que se ubica dentro de departamento de Ucayali, en la selva amazónica peruana (Figura 1). La precipitación media anual de la provincia asciende a 2300 mm, siendo el periodo de mayor precipitación desde noviembre a marzo. La temperatura media anual es de 24,93°C con máximas promedio de hasta 32,5°C, mínimas promedio de 19,30°C y una humedad relativa mensual promedio estimada en 89%, variando de acuerdo con el ciclo de lluvias (MPPA 2002).

La ocupación del área se ha visto fuertemente influenciada por la carretera Federico Basadre, establecida desde el año 1940, para conectar la capital peruana de Lima con las reservas naturales de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la selva (Ugarte-Guerra 2009). Posteriormente, actividades de extracción de recursos madereros y de ampliación de la frontera agrícola se han visto fuertemente influenciadas por procesos de migración provenientes de zonas andinas y del llano amazónico. Los agricultores han sido atraídos por la posibilidad de adquirir terrenos para trabajo agrícola a bajo costo (IIAP 2002, Ugarte-Guerra 2009) y con distintos subsidios y exenciones de impuestos por parte del Estado. Leyes de exención de impuestos a productos agrarios (Ley N° 27956, Ley N° 27158 y Ley N° 26865) y a las inversiones en el Amazonas (Ley N° 27037 y Ley N° 28575) por ejemplo, han promovido la colonización a estas regiones integrando así el Amazonas al modelo económico del país.

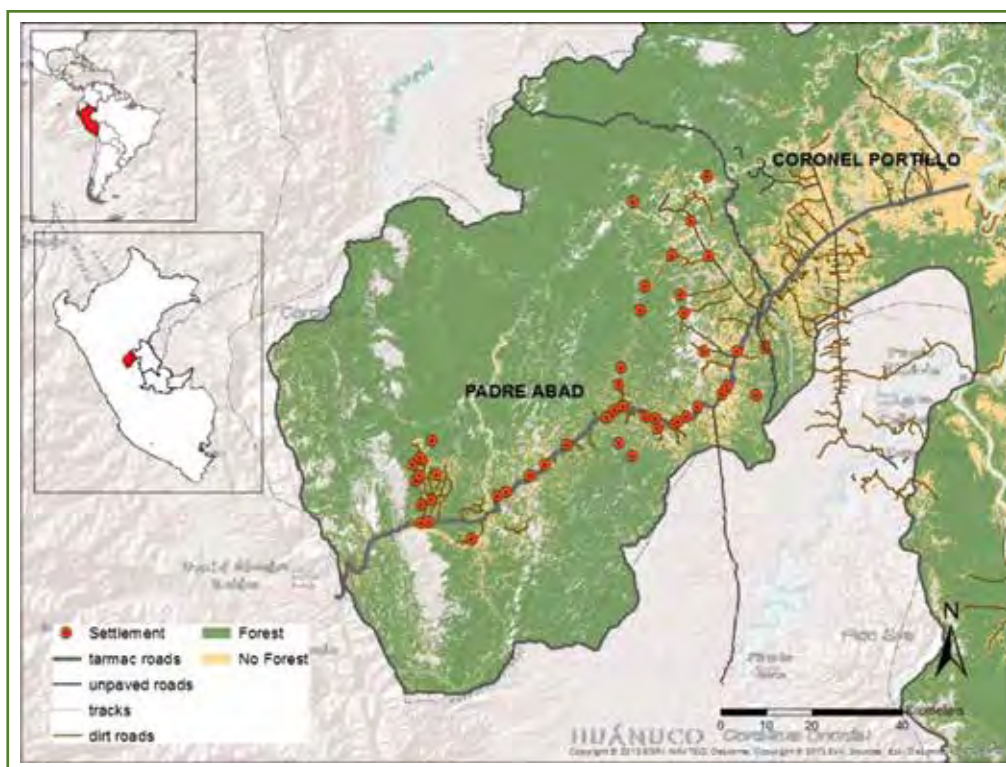


Figura 1. Área de estudio en el Amazonas peruano.

2.2 Descripción del caso de estudio

ACATPA fue fundada en el 2000, con el apoyo directo del PDA (Programa de Desarrollo Alternativo), el cual es un componente de la estrategia anti-narcóticos de los EE.UU., financiado con fondos de USAID y el apoyo de Chemonics International, operador/ejecutor del programa en Ucayali. ACATPA contaba con 230 socios a finales del 2012, con una alta proporción de socios nuevos debido a la creación de un acuerdo de exclusividad de las ventas de cacao a la empresa peruana exportadora de cacao SUMAQAO. Ésta a su vez tiene un convenio comercial con PRONATEC, empresa de compra/venta de cacao con sede en Suiza.

PRONATEC, en su esfuerzo por convertirse en una empresa ambientalmente sustentable, midió su huella de carbono y quiere compensar sus emisiones de carbono promoviendo prácticas agrícolas sustentables, a través de sus socios en países en vías de desarrollo. Esto es factible por medio de la creación de créditos de carbono en asociaciones como ACATPA, apoyado por el subsecuente interés por parte de estas asociaciones de integrarse al mercado de carbono. Desde el año 2011, la asociación tiene la certificación UTZ (sobre agricultura sustentable) y a mediados del 2012, setenta de sus miembros habían obtenido la certificación orgánica (con Rainforest Alliance) y otros sesenta estaban en el segundo año del proceso.

2.3 Metodología para estimaciones de balance de C actual y potencial

El proceso de investigación se realizó con una muestra de 70 productores donde el objetivo era entender el potencial de mitigación de emisiones de CO₂ en las fincas. Para esto se realizaron las siguientes actividades:

- a) Se caracterizaron los medios de vida, a través de reuniones de grupo y entrevistas en profundidad y semi-estructuradas, con el objetivo de entender el potencial e interés de los productores de integrarse a esquemas REDD+ a través del enfoque de estrategias de vida del Departamento de Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID; Ashley y Carney 1999).
- b) Se caracterizó la composición de cada finca, en cuanto a sus usos de la tierra y el manejo de los sistemas productivos. Se determinaron las trayectorias pasadas de los usos para un período de cinco años (2007-2012), teniendo como resultado la composición de la finca durante este período. Con la información de los 70 productores se desarrolló una matriz de probabilidad de cambio para extrapolarlo a nivel de todos los socios (230) y así poder determinar la línea base de emisiones de CO₂ a nivel de la cooperativa.
- c) Se utilizaron los datos de inventarios de carbono de los distintos usos de la tierra encontrados en la finca y desarrollados en forma paralela por ICRAF en la zona de estudio (no publicado). Se midieron los stocks de carbono en los componentes aéreos de los sistemas con la metodología de ASB (Hairiah et al. 2001) utilizando métodos no destructivos. Se usó la ecuación alométrica para árboles de Chave et al. (2005); para palmeras la ecuación de Brown (2002); para *Musa* sp. la ecuación de Van Noordwijk et al. (2002); y para cacao la de Larrea Aguinaga (2007).
- d) Se analizaron opciones de incremento de captura o conservación de carbono en los distintos usos de la tierra, a través de opciones de sistemas agroforestales, reforestación y conservación como alternativas más ricas en carbono a los sistemas agrícolas actuales. Esto se realizó en dos reuniones de grupo con miembros de la Asociación.

2.4 Elaboración de línea base y escenarios

El potencial de estos usos de la tierra, en términos de reducción de emisiones, participación relativa e impacto a nivel de paisaje fue analizado para un periodo de 30 años (en intervalos de 5 años) y a través de una línea base y tres escenarios elaborados de acuerdo con las preferencias descritas por los productores.

- a) Línea de base (histórica): Toma en cuenta declaraciones de los productores sobre los cambios ocurridos en los últimos 5 años y los proyecta hacia el futuro.
- b) Escenario 1: Sin proyecto: Proviene de las declaraciones de los productores según sus intenciones futuras, sin proyecto ni esquemas de pago.
- c) Escenario 2: Cacao enriquecido: Proviene de declaraciones sobre los planes futuros de expandir cacao, donde se incrementan los stocks de carbono en las parcelas, a través del enriquecimiento con árboles maderables. El establecimiento de las nuevas plantaciones se haría sobre purma (vegetación secundaria que regenera en el sitio luego del abandono de los cultivos) dejando las áreas boscosas para objetivos de conservación.
- d) Escenario 3: REALU (Reduciendo Emisiones de Todos los Usos de la Tierra): Este escenario es una combinación de conservación de los bosques, junto con intervenciones para aumentar los stocks de carbono en los distintos usos de la tierra. Considera la oportunidad de intervenir no sólo sobre las prácticas de establecimiento y de enriquecimiento de cacao y conservación de bosques, sino también sobre otros sistemas de la finca, tales como convertir pasturas a sistemas silvopastoriles o a plantaciones de especies maderables.

Con esta información se construyó una matriz de probabilidad de cambio de uso, donde los valores totales fueron calculados y expresados como porcentajes del total de la superficie en una matriz de probabilidad. Estos valores fueron, a su vez, extrapolados para el total de los productores de la Asociación.

La duración de 30 años de los escenarios asume que los cambios son permanentes y que la decisión sobre ellos permanece constante durante el tiempo considerado. Posteriormente, los datos se tradujeron en forma de potencial de emisiones evitadas a través del software ABACUS (Dewi et al. 2011).

3. RESULTADOS

3.1 Estrategias de vida de los productores

3.1.1 Composición de las fincas

Los productores de ACATPA basan sus estrategias de vida en fincas compuestas por múltiples usos de la tierra. En promedio, su superficie es de 30 ha, pero con rangos que varían de 2 a 100 ha. Los usos de la tierra más frecuentes, en término de superficie, son bosques y purmas, seguidos por pastos y cacao (Cuadro 1).

Cuadro 1. Usos de la tierra en las fincas de los miembros de ACATPA (n = 70).

Uso de la tierra	Superficie promedio (ha)	Productores (%)	Área finca (%)	Total (%)
Bosque	17,9	65	43,8	37
Purma (alta y baja)	8,7	88	26,9	25
Plantaciones (<i>Guazuma crinita</i> y <i>Calycophyllum spruceanum</i>)	4,7	11	13,10	2
Cacao	4,9	100	26,6	15
Palma aceitera	5,8	8	40,0	1
Pasturas	11,3	45	27,5	16
Cultivos anuales	2,4	55	8,12	4

3.1.2 Ingresos e inversión

Según el estudio, el ingreso anual promedio por familia fue de US\$7.188, del cual un 74% se derivaba de la producción dentro de la finca y el restante 26% del trabajo fuera de ella. Un 64% de los entrevistados generó parte de su ingreso mediante trabajo fuera de la finca. Del ingreso obtenido dentro de la finca, la mayor parte provino del cacao (80%), demostrando así la importancia de este cultivo en la economía familiar.

Al consultarles a los productores por sus prioridades de inversión en el futuro, la expansión de cacao obtuvo el ranking más alto, con un 52%, indicando esta actividad como la más relevante. En cuanto a factores que limitan su capacidad de producción de cacao, el más importante fue la falta de trabajadores, mencionado en primer lugar por un 65% de los encuestados. El resto de los productores indicó que el factor más limitante era la falta de insumos y herramientas. Cabe destacar que el acceso a tierras no fue identificado como limitante.

3.1.3 El cultivo del cacao

El cacao cultivado por los agricultores encuestados es la primera generación de cacao en la zona. Cerca de un 85% de las parcelas de cacao son menores de 8 años. El cacao es establecido con una densidad promedio de 1.111 plantas por hectárea. El 93% de las parcelas inventariadas usan la variedad ecuatoriana CCN51, que es injertada con distintas variedades criollas de la zona. El manejo del cacao se realiza en forma orgánica. Los promedios de rendimiento en peso seco para las plantaciones mayores a 5 años fueron de 567 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Según las declaraciones de los productores, un 62% de las parcelas de cacao fueron establecidas en bosques con algún nivel de degradación y el resto en el sistema de rotación con purma.

3.2 Determinación del potencial de reducción de emisiones

3.2.1 Almacenamiento de carbono en cacao y en los otros usos de la tierra

En el Cuadro 2 están indicadas las estimaciones de contenido de carbono sobre el suelo de los distintos usos hallados en las fincas de los productores de ACATPA. Se observa que los mayores contenidos de carbono se encuentran en bosques, los cuales presentan un alto grado de degradación debido

a la constante extracción de recursos madereros en la zona desde los años 1940 en adelante. Estos valores son seguidos por los de las purmas altas (> 5 años) y los menores valores se encuentran en pasturas.

Al comparar los distintos cultivos agrícolas, se observa que los contenidos de carbono más altos figuran en palma aceitera, la cual supera al cacao y a la purma baja (< 5 años). Esto se puede explicar en parte por la edad joven de las plantaciones de cacao, donde la edad promedio de las parcelas inventariadas es de 8 años y la densidad de especies de árboles en el dosel de sombra es relativamente baja.

Para considerar la contribución efectiva de los distintos usos de la tierra al stock total de la finca, se multiplicaron los valores de carbono por la superficie correspondiente a cada uso. El stock de carbono más importante para ACATPA está dado por los bosques (74%), seguido por purma alta (> 5 años; 25%) y cacao (12%). Las pasturas, a pesar de tener una superficie considerable, prácticamente no contribuyen al stock de carbono total (2%). Palma aceitera es un cultivo que está creciendo en la zona, pero al momento de realizar los cálculos su contribución en cuanto a carbono no es significativa, debido al bajo porcentaje (8%) de productores que lo tienen en sus fincas.

Cuadro 2. Almacenamientos de carbono sobre el suelo (biomasa aérea y necromasa) en los distintos usos de la tierra encontrados en las fincas de ACATPA.

Categoría de uso de suelo	Uso de suelo	Réplicas	Biomasa aérea (Mg C ha ⁻¹)		
			Promedio	Mín	Máx
Cultivos permanentes	Palma aceitera	17	61,0	48,7	75,6
	Cacao	67	48,6	23,8	94,3
Cultivos rotatorios	Chacra	6	32,3	14,6	51,7
	Purma baja <5años	8	48,6	16,2	91,0
	Purma alta >5años	8	61,3	32,5	98,1
Pasturas	Pasturas	5	5,7	4,0	6,7
Plantaciones	(Bolainal-10 años)	6	43,0	27,0	51,6
Bosques	Bosque degradado	14	165,1	112,7	236,8

3.2.2 Trayectorias y variaciones en los usos de la tierra

Al relacionar las diferencias expresadas por los productores en cuanto a superficie de los distintos usos de la tierra encontradas en las fincas en los años 2007 y 2012, con los contenidos de carbono obtenidos en los inventarios, se elaboró una matriz de probabilidad de cambio de uso donde se extrapolaron las probabilidades para la totalidad de los productores de la cooperativa (n = 230).

La pérdida de carbono en los últimos cinco años para el total de los productores encuestados fue de aproximadamente 93 Mg CO₂eq. La conversión de bosques a otros usos (un total de 215 ha) fue el factor más relevante en cuanto a estas pérdidas, con una participación relativa del 94% del total de las pérdidas de carbono.

3.2.3 Opciones de incremento de C en los distintos sistemas

En reuniones de grupo se presentaron a los productores distintas opciones sobre sistemas de usos de la tierra más ricos en carbono, con los respectivos contenidos de carbono potencial (obtenido de literatura gris de la zona) y requerimientos en cuanto a cambios en el manejo de cada sistema (Cuadro 3).

Los árboles con alta densidad de madera corresponden a especies comúnmente usadas y valoradas positivamente por los productores, como caoba (*Swietenia macrophylla*), shihuahuaco (*Dipteryx micrantha*), marupa (*Simarouba amara*) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*), que se suman a las plantaciones con especies de corta rotación (8 años) y baja densidad de madera como bolaina (*Guazuma crinita*) que se encuentran actualmente en algunas fincas de estos productores.

Cuadro 3. Requisitos de conversión entre los usos de la tierra actuales y los enriquecidos en carbono (C).

Uso actual	Uso enriquecido en C	Contenido de C (Mg ha ⁻¹)	Requisitos
Cacao	Cacao enriquecido	80	Mínimo de 200 árboles por ha con una composición de 50% de árboles maderables de alta densidad
Pasturas	Silvopasturas	40	Mínimo de 200 árboles por ha con una composición de 50% de árboles maderables de alta densidad
Pasturas	Plantaciones forestales	50	Mínimo de 400 árboles por ha
Bosque	Bosque de conservación	165	Bosque en riesgo se destina a conservación
Purma	Purma enriquecida	80	Purma enriquecida con un mínimo de 100 árboles por ha con árboles maderables de alta densidad

3.2.4 Simulación con opciones de enriquecimiento

Con el fin de entender las preferencias de los productores por las distintas opciones de incremento presentadas, se les pidió dibujar un esquema de su finca en la actualidad, otro sobre cómo sería su finca cinco años en el futuro si siguen con los sistemas actuales y otro donde indicaran los cambios que estarían dispuestos a hacer con sistemas más ricos en carbono. Un ejemplo de este ejercicio se presenta en la Figura 2 con el caso de una finca de 30 ha, donde se muestran las tres situaciones contrastantes.

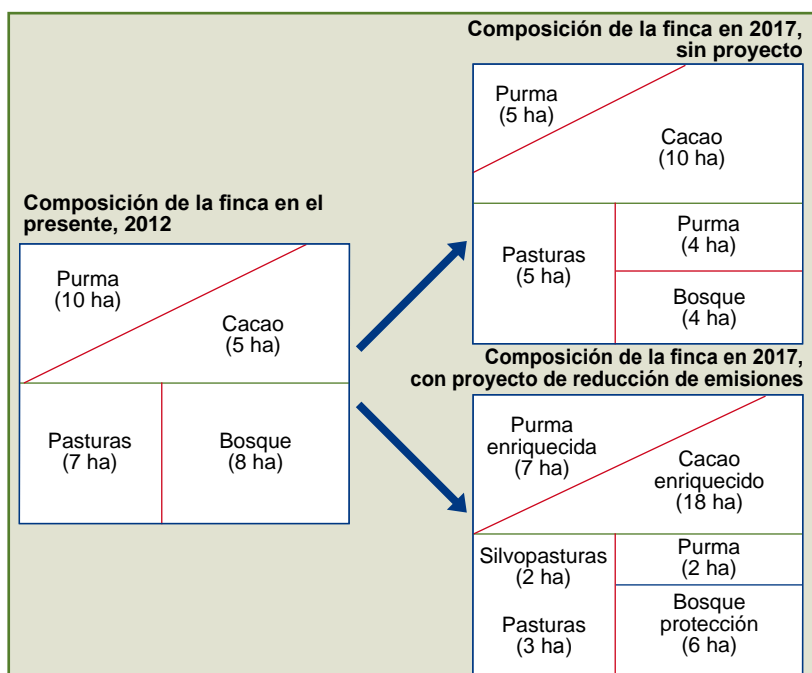


Figura 2. Esquemas de la composición actual de una finca y la composición a futuro con y sin proyecto de acuerdo de las preferencias del productor.

3.3 Resultados de línea base y escenarios

En la línea de base, se alcanzan tasas de $6,9 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, que disminuye a $3,6 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a lo largo del periodo, debido a las iteraciones cada cinco años. En los 30 años las emisiones alcanzan un total acumulado de $79.318 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq}$.

El escenario sin proyecto no difiere en forma significativa del anterior, con emisiones que van de $6,9$ a $2,4 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a lo largo del periodo, emitiendo un total de $66,0 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq}$ en 30 años.

En el escenario de cacao enriquecido, el establecimiento de las nuevas plantaciones de cacao con árboles de alta densidad de madera sobre purma en vez de en áreas boscosas significaría una reducción de emisiones con respecto a la línea base histórica de $3,5\%$, con tasas que van de $6,9$ a $2,0 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a lo largo del periodo y un total de $51.900 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq}$ en 30 años.

Por último, el escenario REALU es el único que revierte el proceso de emisiones a uno de secuestro de carbono a nivel de la totalidad de las fincas, con una reducción de emisiones con respecto a la línea base histórica de $97,7\%$, e incluso absorbiendo CO_2 , con tasas negativas de emisión entre $-6,9$ a $-3,5 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a lo largo del periodo. Por lo que se reponen al sistema un total de $77.530 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq}$ en 30 años.

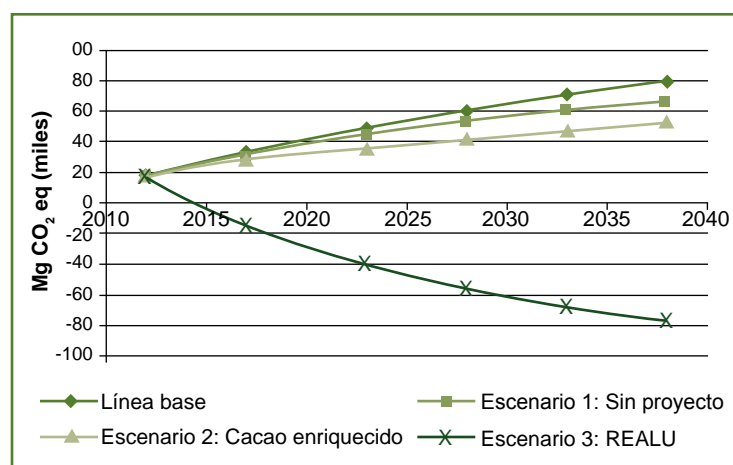


Figura 3. Escenarios de reducción de emisiones con y sin proyecto.

4. DISCUSIÓN

Varios autores han destacado el potencial de reducir emisiones en tierras agrícolas y/o con sistemas agroforestales diseñados y manejados de forma que acumulen carbono (C) en la biomasa y en los suelos (Albrecht y Kandji 2003, Montagnini y Nair 2004, Somarriba et al. 2008, Schroth et al. 2013) y con sistemas agroforestales con cacao en forma específica (Dixon 1995, Poveda et al. 2013, Schroth et al. 2013, Somarriba et al. 2013). Sin embargo, para poder evaluar el potencial de reducir emisiones de estos sistemas se debe tener en cuenta la trayectoria, el manejo y los usos anteriores del suelo. Como se muestra en la línea base, en estas fincas parte de las emisiones son originadas por la conversión de bosques a cacao. Estas emisiones disminuyen si se planta este cultivo en bosques degradados o purmas y a la vez ayudan a recuperar C si el uso anterior fueran áreas agrícolas o pasturas.

Por otra parte, enriquecer en carbono el actual cultivo de cacao se percibe como un interesante punto de entrada, por ser el medio de vida de mayor interés para los productores. A la vez este

cultivo los integra en una asociación como ACATPA, que permite iniciar proyectos como REALU con una base más avanzada en cuanto a los arreglos institucionales necesarios para entrar en un esquema de pagos.

Se deben tener en cuenta posibles dificultades al hacer un manejo más intensivo dentro de las fincas con sistemas más ricos en carbono. Resultados del análisis socioeconómico indican escasez de mano de obra, junto con la tendencia a adquirir importancia los ingresos provenientes de trabajos fuera de la finca. Esto resalta la necesidad de analizar estos aspectos con mayor profundidad al involucrar productores en este tipo de esquemas.

La superficie relativamente grande de los terrenos de estos productores (con promedios de 30 ha), donde el área boscosa es un componente importante en cuanto a composición de los usos de la tierra, hace interesante la posibilidad de conservar bosques privados en sitios con alto nivel de degradación y con procesos de deforestación activos.

Como se presenta en la simulación de los escenarios, un enfoque que integre todos los usos que componen la finca y que tomen en cuenta las trayectorias que ocurren entre ellos, como en el escenario REALU, demuestra un potencial más alto y permite obtener volúmenes de emisiones realistas, si el objetivo es tener pagos por créditos de carbono.

A su vez, los beneficios económicos que podrían generar los proyectos de reducción de emisiones para los pequeños productores, a pesar de que en sistemas agrícolas el pago puede ser relativamente bajo (Antle et al. 2007, Kissinger et al. 2013), podrían motivar cambios en usos comunes de los sistemas. Estos ingresos pueden ser incentivos críticos para generar una sensación de compromiso con el proyecto (Kissinger et al. 2013). Además, éstos pueden motivar a los agricultores en las fases iniciales del proyecto, al tener un ingreso antes de poder obtener beneficios derivados de los mismos árboles (Somarriba y Harvey 2003, Somarriba et al. 2008, Balderas et al. 2010, Montagnini y Finney 2011).

A pesar de estas ventajas, la proporción de proyectos que generan bonos de carbono provenientes del uso de la tierra y los cambios de usos (LULUCF) es muy limitada. De acuerdo con “The State of the Forest Carbon Market 2012” en el año 2011 se comercializó un volumen total de 237 millones de toneladas proveniente de proyectos LULUCF, que corresponde sólo a un 0,25% del total del mercado de carbono.

Uno de los aspectos que complican la inclusión de pequeños productores en estos mercados es que actualmente no existe ningún estándar certificador de reducción de emisiones que contemple, por ejemplo, todas las actividades relevantes para el caso de ACATPA. A pesar de que partes de las actividades consideradas podrían ser reconocidas por alguna de las metodologías – por ejemplo, la reforestación en pasturas, bajo los esquemas ALM (Manejo de Tierras Agrícolas) o ARR (Aforestación, Reforestación y Revegetación), evitar deforestación bajo esquemas REDD o Agroforestería bajo VCS (Estándar de Verificación de Carbono) – cada una caería bajo distintas categorías de proyectos o módulos que requerirían protocolos de líneas de base y monitoreo diferentes.

Trabajar en estos esquemas con pequeños productores también conlleva riesgos, respecto a la seguridad de cumplimiento de los contratos, así como de la adicionalidad y permanencia de los stocks en el tiempo. Esto es debido a la posible movilidad de los productores, la compra, venta o dar en herencia parte de las tierras, y la incertidumbre existente en zonas donde los cultivos ilegales forman parte común de la agricultura.

5. CONCLUSIONES

El estudio muestra que existe una serie de factores que influyen en el potencial de pequeños y medianos productores agrícolas, de integrarse a proyectos de reducción de emisiones. Entre estos factores figuran la dotación de activos y otras características socioeconómicas, los niveles de contenido de carbono actuales y la composición de usos de la tierra en la finca, los arreglos institucionales entre los distintos actores de la cadena de valor y las condiciones de mercado, junto con el contexto sociopolítico de la región, que hacen compleja la inclusión de pequeños productores en esquemas tipo REDD+.

Otra razón que complica la integración de actores como ACATPA en este tipo de esquemas es la forma en que están orientados los distintos estándares que acreditan los bonos de carbono con un enfoque basado sólo en actividades, sin tomar en cuenta las trayectorias ni la composición de usos de la tierra de los paisajes agrícolas. En consecuencia, es recomendable el desarrollo de más estudios que se enfoquen en la complejidad de las dinámicas que existen entre las estrategias de vida de los productores, la forma en que deciden las trayectorias de los distintos usos de la tierra y en cómo estas decisiones tienen un impacto sobre el paisaje.

De los resultados basados en los distintos escenarios de mitigación podemos concluir que al haber el mayor potencial de reducción en el escenario REALU, se destaca la importancia de un enfoque de paisaje, donde se tomen en cuenta todos los usos de la tierra y se reconozca el potencial de reducir emisiones en propiedades privadas, localizadas en áreas altamente degradadas, donde se integran actividades de conservación de bosques remanentes, junto con enriquecimiento o acumulación de carbono, como plantaciones en macizo y linderos, sistemas silvopastoriles y de cacao enriquecido con especies arbóreas de alta densidad maderable.

De los resultados obtenidos en las distintas reuniones de grupo cabe destacar que se debe dar una alta importancia a recomendaciones que estén en línea con los objetivos del productor, que resultaron en la integración de sistemas más ricos en carbono en cultivos del interés de ellos, tales como cacao, que a pesar de su menor impacto en cuanto a volumen de CO₂ reducido, es un sistema clave para captar el interés de los productores y un punto de partida interesante para acceder a las ventajas que tiene trabajar con instituciones ya establecidas, como cooperativas o asociaciones.

Se ve necesario estudiar con mayor profundidad el rol que podrían jugar las empresas comunales, tales como las asociaciones y cooperativas, en la integración de productores a diferentes mercados de pago por servicios ambientales. Estas asociaciones pueden servir como un punto de entrada para tener acceso a una masa crítica de productores donde se puedan realizar intervenciones con un impacto sobre el paisaje. Estas empresas pueden incrementar fuertemente la eficiencia a través de economías de escala, división de trabajo y profesionalización del manejo a nivel de directivas. Para lograr estos objetivos se necesita de considerables inversiones en comunicación y lograr consenso para poder ejercer una gobernanza eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht, A; Kandji, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99:15-27.
- Antle, J; Soorvogel, J; Valdivia, R. 2007. Assessing the economic impacts of agriculture carbon sequestration: Terraces and agroforestry in the Peruvian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122:435-445.
- Ashley, C; Carney, D. 1999. Sustainable livelihoods: Lessons from early experience (Vol. 94). London, Department for International Development.
- Balderas, A; Marchant, R; Lovett, J; Smart, J; Tipper, R. 2010. Analysis of the carbon sequestration costs of afforestation and reforestation agroforestry practices and the use of cost curves to evaluate their potential for implementation of climate change mitigation. *Ecological Economics* 69:469-477.
- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution* 116(3):363-372.
- Chave, J; Andalo, C; Brown, S; Cairns, M.A; Chambers, J. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145:87-99.
- Dewi, S; Ekadinata, A; Galudra, G; Agung, P; Johana, F. 2011. LUWES: Land Use Planning for Low Emission Development Strategy. Bogor, Indonesia, World Agroforestry Centre (ICRAF), Southeast Asia (SEA).
- Dixon, R. 1995. Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31:99-116.
- Hairiah, K; Sitompul, S; Van Noordwijk, M; Cheryl, P. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground *In: ASB Lecture Note 4B*. Indonesia. 23 p.
- IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana). 2002. Propuesta de Zonificación Ecológica Económica de la cuenca del Aguaytía. Informe final. Pucallpa, Consejo Transitorio de Administración Regional Ucayali. 96 p.
- Kissinger, G; Patterson, C; Neufeldt, H. 2013. Payments for ecosystem services schemes: project-level insights on benefits for ecosystems and the rural poor. ICRAF Working Paper No. 172. Nairobi, Kenya, World Agroforestry Centre.
- Larrea Aguinaga, GC. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). 146 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2010. Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. Lima, Perú, Fondo Editorial. 206 p.
- Montagnini, F; Nair, P. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
- Montagnini, F; Finney, C. 2011. Payments for environmental services in Latin America as a tool for restoration and rural development. *Ambio* 40:285-297.

- MPPA (Municipalidad Provincial de Padre Abad). 2002. Plan Estratégico de Desarrollo Participativo y Concertado de la Provincia de Padre Abad. San Alejandro, Perú, Municipalidad Padre Abad. 153 p.
- Poveda, V; Orozco, L; Medina, C; Cerda, R; López, A. 2013. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 49:42-50.
- Ridder, R. 2007. Global forest resources assessment 2010: options and recommendations for a global remote sensing survey of forests. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Forest Resources Assessment Programme. 141 p.
- Schroth, G; Bede, L; Paiva, A; Cassano, C; Amorim, A; Faria, D; Mariano-Neto, D; Martini, A; Sambuichi, Lôbo, R. 2013. Contribution of agroforests to landscape carbon storage. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*:1-16.
- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar simultáneamente producción sostenible y conservación de la biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10:37-38.
- Somarriba, E; Andrade, HJ; Segura, M; Villalobos, M. 2008. ¿Cómo fijar carbono atmosférico, certificarlo y venderlo para complementar los ingresos de productores indígenas de Costa Rica? *Agroforestería en las Américas* 46:81-88.
- Somarriba, E; Cerda, R; Orozco, L. 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 173:46-57.
- Ugarte-Guerra, L. 2009. Migración, Carreteras y la Dinámica de la Deforestación en Ucayali. *En: A Alternativa Agroflorestal Na Amazônia Em Transformação*. Brasília, Brasil, Empresa Brasileira de Pesquisas Agronomicas (EMBRAPA). 500 p.
- UNFCCC. 2011. United Nations Framework Convention on Climate Change Report of the Conference of the Parties on its Sixteenth Session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010 (FCCC/CP/2010/7/Add.1, United Nations, 2011); Disponible *En:* <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf>
- Van Noordwijk, M; Rahayu, S; Hairiah, K; Wulan, Y; Farida, A; Verbist, B. 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. *Science in China (Series C)* 45(SUPP):75-86.
- Velarde, S; Ugarte-Guerra, J. 2010. Reducing Emissions from All Land Uses in Peru. Final National Report. ASB partnership for the tropical forest margins, Nairobi, Kenya, World Agroforestry Centre. 142 p.



314

Yerba mate con especies nativas en SAF, Misiones, Argentina. Foto: F. Montagnini.

Capítulo 14

BIOMASA Y CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN ÁRBOLES DE *Handroanthus heptaphyllus* (VELL.) MATTOS, EN UN SISTEMA AGROFORESTAL CON *Ilex paraguariensis* A. ST.-HIL.

Lucas N. López¹

¹ Ingeniero Forestal, Consultor Independiente.
Av. San Martín 3260, Eldorado, Misiones, Argentina. +54-3751-423689,
Correo electrónico: lucas_eldorado@yahoo.com.ar

RESUMEN

Se realizó una estimación de biomasa y carbono almacenados en la especie arbórea *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo, actualmente identificada como *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos (Bignoniaceae) mediante una fórmula convencional y un modelo alométrico, considerando dos coeficientes de forma. Los ejemplares estudiados se encuentran en un sistema agroforestal con dos especies maderables nativas asociadas con la yerba mate, *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil (Aquifoliaceae), especie conocida mundialmente por la infusión que se prepara con ella y de alto valor cultural. Las otras especies arbóreas en este sistema eran guatambú blanco, *Balfourodendron riedelianum* Engl. (Rutaceae), y timbó colorado, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. (Mimosaceae). El sistema agroforestal fue establecido en 1990-1992 en un área degradada poblada por pastos agresivos, en el departamento de Eldorado, provincia de Misiones, Argentina.

Para el cálculo de la biomasa basado en el volumen maderable se consideraron dos coeficientes de forma: 0,5 y 0,775. Mediante el modelo convencional, para la edad de 16 años, usando un coeficiente de forma de 0,5, se estimó una biomasa media de 108,51 kilogramos y una cantidad media de carbono almacenado de 54,25 kilogramos en fuste. Utilizando el modelo alométrico la estimación de biomasa fue de 109,06 kilogramos en fuste para la misma edad y mismo coeficiente de forma, correspondiendo a 54,53 kg de carbono por fuste por árbol. La diferencia porcentual entre ambas estimaciones, utilizando el modelo convencional y el modelo alométrico, fue de 0,51 por ciento. Por otro lado, considerando un coeficiente de forma de 0,775 mediante el modelo convencional y a la edad de 16 años, se estimó una biomasa de 168,18 kilogramos y 84,09 kilogramos de carbono por fuste. Usando el modelo alométrico se estimó 169,05 kilogramos de biomasa por fuste por árbol, correspondiendo a 84,52 kilogramos de carbono. Se registraron las mismas diferencias porcentuales utilizando un coeficiente de forma de 0,775 entre las estimaciones del modelo convencional y alométrico. El presente estudio concluye que es factible utilizar el modelo alométrico para la estimación de biomasa y el correspondiente carbono almacenado en *Handroanthus heptaphyllus*, para situaciones similares a las del área de estudio.



316

Yerba mate con cedro *Cedrela fissilis* en SAF, Misiones, Argentina. Foto: F. Montagnini.



1. INTRODUCCIÓN

La selva paranaense de Misiones, en el NE de la República Argentina, cuenta con una superficie aproximada de 1.123.000 ha (Placci y Di Bitteti 2005). Dentro de esta superficie remanente de bosque nativo, existen actualmente 68 Áreas Protegidas, respaldadas por la Ley Provincial 2.932 de Áreas Naturales Protegidas, la Ley Provincial de Bosques 854, y la más importante para la conservación, la Ley Provincial 3.631 “Corredor Verde,” lo que conforman cerca de 778.602 ha con alguna modalidad de protección. Además, la recientemente promulgada Ley No. 26.331 (Ley de Presupuesto Mínimo de Protección Ambiental de los Bosques Nativos) establece una categorización del territorio provincial en áreas destinadas a conservación y uso sustentables.

A pesar de ser Misiones una provincia con un sistema de áreas protegidas y con los instrumentos legales para la conservación y el desarrollo sostenible, la deforestación en la provincia entre 1998 y 2002 fue de 67.233 hectáreas. La tasa anual de deforestación (r) calculada para el periodo 1998-2002 fue de un $r = -1,34\%$, lo cual equivale a 13.446,6 hectáreas por año, siendo este valor mayor al r promedio mundial calculado para el periodo 1990-2000 que fue de un $-0,23$. Misiones es la provincia con mayor riqueza en biodiversidad arbórea de Argentina, con un total de 330 especies. Estos autores estiman que algo más del 40% de las especies arbóreas de Misiones se encuentra real o potencialmente bajo diversos grados conocidos de riesgo.

Frente a esta situación se hace necesario llevar a cabo programas de reforestación en la provincia para revertir algunos de los efectos de la deforestación. La forestación y la reforestación han sido propuestas como alternativas para reducir la concentración de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico. Considerando que una opción para reducir el contenido de CO_2 en la atmósfera es almacenar el C en la biomasa de la vegetación y en el suelo donde se ubicados las masas arbóreas, los programas de forestación y reforestación pueden funcionar muy bien como secuestradores de CO_2 (Caldwell et al. 2007).

Por ejemplo, en un estudio de especies nativas en el noreste de China ciertas especies nativas de madera dura presentaron alto potencial para secuestro de carbono (Thomas et al. 2007). Asimismo, los autores concluyeron que el incremento del uso de especies nativas con este fin tendría beneficios adicionales en términos de diversificación económica y prestación de servicios ecosistémicos, incluyendo la protección de la biodiversidad.

La forestación con especies nativas, al contribuir en la reducción del contenido de CO₂ en la atmósfera, puede brindar beneficios económicos por la venta de bonos de carbono en el mercado mundial. A pesar de que existe gran incertidumbre en este tipo de mercado a nivel local, estos créditos pueden proveer un ingreso substancial y la posibilidad de subsidiar la forestación y la reforestación (Caldwell et al. 2007).

Analizando diversas prácticas silviculturales en cuarenta países, Dixon (1997) encontró que el secuestro de carbono según los datos disponibles en ese momento variaba desde 5 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ en promedio, en altas latitudes y hasta 40 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ en bajas latitudes. Asimismo, existen grandes variaciones en el potencial de secuestro de carbono entre las diferentes regiones, dependiendo de las variables condiciones ambientales y del manejo silvícola. De esta manera se hace necesario realizar estimaciones que puedan utilizarse para programas de reforestación en sitios específicos, para las especies más utilizadas en este tipo de proyectos.

Para la provincia de Misiones hay algunos antecedentes de este tipo de estudios. Por ejemplo, Maiocco (2003) realizó una estimación de acumulación de carbono aéreo (fuste y ramas, donde ramas fue calculado como el 10% del volumen del fuste) para plantaciones de *Pinus taeda*, *P. elliottii*, *Araucaria angustifolia*, y *Eucalyptus grandis* en el noreste de la provincia (Cuadro 1). Para las estimaciones respectivas se utilizaron las siguientes fórmulas: Cc = Bc × Rc, donde Cc = Carbono; Bc = Biomasa (toneladas/hectárea); Rc = Fracción de carbono en la biomasa seca = 0,50, siendo Bc = (Vf + Vc) × Pe donde Vf = Volumen de fuste (m³ ha⁻¹); Vc = volumen de corteza (m³ ha⁻¹); Pe = Peso específico en toneladas/m³.

Cuadro 1. Carbono en fuste en cuatro especies utilizadas en plantaciones forestales en la Provincia de Misiones, Argentina.

Especie	Edad (años)	Densidad (árboles ha ⁻¹)	Carbono almacenado (Mg/fuste ha ⁻¹)	Carbono almacenado (Kg/fuste árbol ⁻¹)
<i>Pinus taeda</i>	20	350	74,02	211,47
<i>Pinus elliottii</i>	20	500	77,10	154,21
<i>Araucaria angustifolia</i>	20	350	53,44	152,69
<i>Eucalyptus grandis</i>	20	200	169,21	846,05

Fuente: Maiocco (2003).

Existen también ecuaciones alométricas desarrolladas para *Pinus taeda* y para *Araucaria angustifolia* por Fassola et al. (2010) y Fernández Tscheder et al. (2004), respectivamente, ambos citados por Montagnini (este volumen). Para *Pinus taeda*, la ecuación alométrica desarrollada por Fassola et al. (2010) para el tronco fue: ln (Biomasa del Tallo) = -4,91 + 3,04 × ln(DAP). Las ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa de *Araucaria angustifolia* desarrolladas por Fernández Tscheder et al. (2004) fueron: para la biomasa del tronco: PS = 635,3 + 32,30 × DAP² × ALT, mientras que para la biomasa total, la ecuación fue PS = -41,71 + 0,565 × DAP². En ambos estudios citados, ALT = altura total, DAP = diámetro a la altura del pecho, PS = peso seco.

En el presente trabajo se hace una estimación de la biomasa y la cantidad de carbono almacenado en lapacho negro, *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos (Bignoniaceae), plantado en un sistema agroforestal con especies maderables nativas asociadas con la yerba mate, *Ilex paraguariensis* St. Hil. (Aquifoliaceae); el guatambú blanco, *Balfourodendron riedelianum* Engl. (Rutaceae); y el timbó colorado, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. (Mimosaceae) en un área degradada, esta última especie referenciada como fijadora de nitrógeno (Montagnini et al. 2006). Para la selección de las especies a ser utilizadas en el sistema agroforestal se tuvo en cuenta el valor de su madera y características de buen crecimiento en la provincia de Misiones. Se estimó la biomasa y el carbono almacenados en fuste a partir del volumen calculado, con dos coeficientes de forma, así como a través de un modelo alométrico.

2. MÉTODOS

2.1 Descripción de las especies del sistema agroforestal en estudio

Ilex paraguariensis, conocida por su nombre vulgar de yerba mate o erva mate, pertenece a la familia Aquifoliaceae. Es una planta esciófita y de crecimiento monopódico. Es un árbol perennifolio cuya dispersión natural es principalmente por aves (zoocórica). El uso de su madera es escaso ya que se deteriora rápidamente por el ataque de hongos xilófagos, pero las hojas se usan para la elaboración de la yerba mate (Eibl et al. 2002, Eibl et al. este volumen). La yerba mate es un cultivo de gran importancia socio-económica en la región. Presenta un elevado índice de consumo doméstico y también genera ingresos por ventas en el exterior. En Argentina se cultiva sólo en dos provincias: Misiones y Corrientes, debido a las condiciones agroecológicas necesarias para su desarrollo. La infusión que se prepara con sus hojas, el “mate,” posee además de propiedades estimulantes, diuréticas y digestivas, un importante valor cultural. Una de las más conocidas tradiciones argentinas es la de “tomar mate” (Résico y Burghi 2010).

Tabebuia heptaphylla (Vell.) Toledo, actualmente identificada como *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.), conocida vulgarmente como “lapacho negro,” es considerada por la calidad de su madera como del grupo de las “Maderas de Ley” de Misiones. Su uso es múltiple, en el rubro de la carpintería en general, utilizándose para marcos de puertas y ventanas, construcción, parquet, puentes, vigas y tirantes, y en construcciones navales para fondo de embarcaciones. La madera de lapacho negro es considerada, junto al lapacho amarillo, urunday, y quebracho, como muy pesada, ya que posee una densidad promedio mayor a 1.000 g/cm³ (Suirezs 2007). Los campesinos usan la sustancia que se encuentra en la madera del lapacho, llamada vulgarmente lapachol, en casos de enfermedades del pulmón, hígado, riñones, intestino y vejiga. También se utiliza la corteza y las hojas ya que contienen tanino y su cocimiento astringente sirve para lavar heridas, llagas y úlceras. Se trata de un árbol que alcanza 35 m de altura y hasta 1,5 m de diámetro a la altura del pecho (DAP). Presenta fuste recto a tortuoso y follaje deciduo. La especie es natural de las zonas tropicales y subtropicales de Sudamérica (Brasil, Bolivia, Paraguay y partes de la Argentina). Crece en el bosque alto de la cuenca del río Paraná. Tiene una distribución limitada, habitando casi exclusivamente los sitios bajos con suelos húmedos y profundos, formando parte del estrato superior. Es muy raro hallarla en otros microambientes (López et al. 1987) (Figura 1).



Figura 1. Plantación de *Handroanthus heptaphyllus* en sistema agroforestal en el municipio de Eldorado, Misiones. Foto: L. López.

2.2 Sitio de estudio

El área en estudio se encuentra sobre la Avenida Fundadora, en la ciudad de Eldorado, Provincia de Misiones, Argentina. Se trata de un sitio medianamente degradado (Cuadro 2), como resultado de distintas actividades agrícolas de alta intensidad (con uso de máquinas agrícolas) durante aproximadamente 20 años. Al abandonarse, el lugar fue ocupado por pastos invasores, especialmente de los géneros *Andropogon* y *Pennisetum* (Barth 2008).

Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina (INTA), la provincia de Misiones tiene un clima clasificado en el sistema Köppen como Cfa, con lluvias repartidas a lo largo del año, por lo que no hay una estación seca. El clima es clasificado como subtropical húmedo con temperatura máxima de 39°C en enero y mínima de -6°C en julio. Las precipitaciones anuales están entre los 1700 mm y 2400 mm (Eibl et al. 1995).

Cuadro 2. Características químicas del suelo antes de realizar las plantaciones.

Espesor (cm)	MO %	Nt %	P ppm	pH en H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Suma de bases Cmol ⁺ /Kg	CIC Cmol ⁺ /Kg
					Cmol ⁺ /Kg				
0 - 10	2,6	0,24	3,2	5,2	5,8	1,5	0,29	7,6	10,7
10 - 30	1,4	0,12	1,3	4,7	4,2	0,9	0,11	5,2	8,7

Fuente: Montagnini et al. (2006). MO: Materia orgánica, Nt : Nitrógeno total.

2.3 Diseño de las parcelas

Inicialmente, en el año 1991, se instaló el ensayo con el siguiente diseño:

1. *Ilex paraguariensis*, monocultivo, 560 individuos (densidad 1,5 m × 3 m);
2. *I. paraguariensis*, 120 individuos (densidad 1,5 m × 6 m) + *Enterolobium contortisiliquum*, 40 individuos (densidad 3 m × 6 m) plantados en líneas alternadas;
3. *I. paraguariensis*, 120 individuos (densidad 1,5 m × 6 m) + *Balfourodendron riedelianum*, 40 individuos (densidad 3 m × 6 m) plantados en líneas alternadas; y
4. *I. paraguariensis*, 120 individuos (1,5 m × 6 m) + *E. contortisiliquum*, 20 individuos (densidad 3 m × 6 m) + *B. riedelianum*, 20 individuos (densidad 3 m × 6 m).

Debido a la baja tasa de sobrevivencia que presentó *Balfourodendron riedelianum* se reemplazaron los individuos faltantes con *Handroanthus heptaphyllus* por considerar en el momento que esta especie presentaría una mejor adaptación al sitio. La parcela de *Handroanthus heptaphyllus* fue establecida en Agosto de 1993 dentro del sistema agroforestal con *Ilex paraguariensis*, *Balfourodendron riedelianum* y *Enterolobium contortisiliquum*, estas dos últimas plantadas en agosto de 1991. El número inicial de árboles de *H. heptaphyllus* en las parcelas correspondientes a los tratamientos 3 y 4 era de 42 individuos (año 1993), quedando en el momento del presente estudio (año 2009) un total de 37 individuos en una superficie de 2.500 m².

2.4 Mediciones

Para el presente trabajo se realizaron siete mediciones sucesivas de los árboles de *Handroanthus heptaphyllus*, desde 1994 hasta 2009, en siete diferentes años, 1994, 1995, 2000, 2003, 2004, 2008 y 2009. En cada año mencionado tomaron datos de altura total (Ht) y diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,3 m sobre el nivel del suelo.

2.5 Análisis de datos

Fueron calculados para cada individuo el área basal y el volumen, y se estimó la biomasa del fuste y la cantidad de carbono almacenado en el fuste. Para los análisis que implican DAP fueron utilizados los datos a partir de la edad de 5 años, mientras que para los análisis que involucran la altura total se usaron los datos desde los 2 años. El incremento medio anual (IMA) fue calculado a partir de la edad de 5 años, y resultó de dividir el valor de crecimiento por la edad correspondiente de plantación. El volumen individual de los árboles fue calculado mediante:

1. fórmula propuesta por Newbould (1967) citada por Redondo Brenes y Montagnini (2006) utilizando un coeficiente de forma (cf) de 0,5:

$$\text{Volumen} = \text{área basal} \times \text{altura total} \times 0,5$$

$$\text{Donde } \text{área basal} = (\pi/4) \times \text{DAP}^2$$

DAP = diámetro a la altura del pecho en metros (m).

2. La misma fórmula anterior, pero utilizando coeficiente de forma de 0,775 propuesto por Hutchinson (1974). Este coeficiente se usa de forma general para especies nativas, entre ellas *Handroanthus heptaphyllus*, en Paraguay (con tipo de clima similar a Misiones).

$$\text{Volumen}' = \text{área basal} \times \text{altura total} \times 0,775$$

Para la estimación de biomasa presente en lapacho y cuantificación de carbono almacenado, se procedió teniendo en cuenta los distintos resultados de volumen debido a los coeficientes de forma utilizados. Se realizaron las estimaciones y cálculos para fuste, considerando que en términos porcentuales, el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representando entre 55 y 77% del total (Álvarez 2008).

Para la estimación de biomasa se procedió de tres formas:

1. A través de la ecuación convencional de cálculo de biomasa, donde el volumen fue calculado mediante la fórmula propuesta por Newbould (1967) usando coeficiente de forma de 0,5:

$$\text{Biomasa} = \text{volumen} \times \text{densidad} \quad (1)$$

2. A través de la ecuación convencional de cálculo de biomasa, donde para el cálculo de volumen el coeficiente de forma es el propuesto por Hutchinson (1974) de 0,775:

$$\text{Biomasa}' = \text{volumen}' \times \text{densidad} \quad (2)$$

3. Mediante modelo alométrico desarrollado por Montero y Montagnini (2005):

$$\ln(y) = a + b * \ln(DAP)$$

- considerando coeficiente de forma (cf) = 0,5:

$$\Rightarrow y = e^{[a+b \times \ln(DAP)]} \quad (3)$$

- considerando coeficiente de forma (cf) = 0,775:

$$\Rightarrow y' = e^{[a+b \times \ln(DAP)]} \quad (4)$$

Donde y y y' = biomasa en kilogramos (kg) usando coeficientes de forma de 0,5 y de 0,775 respectivamente, DAP = diámetro a la altura del pecho en centímetros (cm), a y b son coeficientes hallados a través de un gráfico de regresión entre DAP – Biomasa y DAP – Biomasa' (López 2010).

Para fórmulas de estimación de biomasa (1) y (2), la densidad utilizada fue 990,286 kg/m³, que es el resultado del promedio de las densidades (peso seco) propuestas por INTI – CITEMA (2009) y Suirezs (2009).

A partir de la biomasa del fuste se calculó la concentración de carbono presente en el mismo. La cuantificación de carbono se realizó en kilogramos en fuste y en Megagramos por hectárea. Se consideró que el 50% de la biomasa está formada por carbono (Álvarez 2008, Montero y Montagnini 2005). Para la estimación de carbono almacenado en fuste se consideró la biomasa obtenida mediante el volumen calculado con $cf = 0,5$, biomasa' encontrada a partir del volumen' calculado con $cf = 0,775$ y biomasa estimada a través del modelo alométrico.

$$\text{Cantidad de carbono almacenado} = \text{biomasa} \times 50\%$$

Donde biomasa se estimó de (1)

$$\text{Cantidad de carbono almacenado}' = \text{biomasa}' \times 50\%$$

Donde biomasa se estimó de (2)

$$\text{Cantidad de carbono almacenado}_y = y \times 50\%$$

Donde biomasa se estimó de (3)

$$\text{Cantidad de carbono almacenado}_{y'} = y' \times 50\%$$

Donde biomasa se estimó de (4)

Para todas las estimaciones de biomasa y carbono almacenado se tuvo en cuenta el fuste con corteza. La estimación de la cantidad de carbono almacenado en fuste por hectárea, resultó de multiplicar el número de individuos en la parcela (2.500 m²) por 4. Para una investigación estricta, se observa la necesidad de determinar parámetros dasométricos específicos para la población en estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Crecimiento en diámetro y altura de *Handroanthus heptaphyllus* en un sistema agroforestal

La especie en estudio no presenta un comportamiento normal en cuanto a su distribución diamétrica. En el sitio la especie mostró un incremento medio anual (IMA) diamétrico de 1,04 cm. Los valores de IMA DAP fueron decreciendo a través de los años (Cuadro 3). Como se observa en la Figura 2 los valores de DAP están dentro de un rango de 4 a 11,35 cm para el año 5 y de 8 a 27,5 cm para el año 16.

Cuadro 3. Datos generales de crecimiento y productividad de *Handroanthus heptaphyllus* en sistema agroforestal.

Edad	Ind	DAP- (cm) medio	Altura Total - Ht - (m) medio	Área Basal (m ² ha ⁻¹)	Vol. Total (m ³ ha ⁻¹) cf=0.5	Vol. Total (m ³ ha ⁻¹) cf=0.775	IMA DAP (cm año ⁻¹)	IMA Ht (m año ⁻¹)	IMA volumen (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	IMA volumen (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)
5	39	8,13	5,48	0,81	2,22	3,44	1,63	1,10	0,44	0,69
7	39	11,27	6,18	1,56	4,81	7,45	1,61	0,88	0,69	1,06
10	39	13,25	7,30	2,15	7,85	12,17	1,32	0,73	0,79	1,22
11	37	14,82	7,97	2,55	10,18	15,77	1,35	0,72	0,93	1,43
15	37	16,30	8,80	3,09	13,58	21,05	1,09	0,59	0,91	1,40
16	37	16,71	9,99	3,25	16,22	25,14	1,04	0,62	1,01	1,57

En el sitio en estudio la especie mostró un incremento medio anual en altura de 0,62 m/año por árbol. El IMA fue decreciente hasta la edad de 15 años con un pequeño incremento para el año 16 (Cuadro 3). En la Figura 3 se presentan los valores de media, máximo y mínimo de altura total observado en las distintas mediciones. Se registró como dato mínimo a la edad de 1 año 0,35 m y como máximo 2 m, mientras que para la edad de 16 años el dato mínimo observado es de 7 m y el máximo es de 13,10 m de altura (Figura 3).

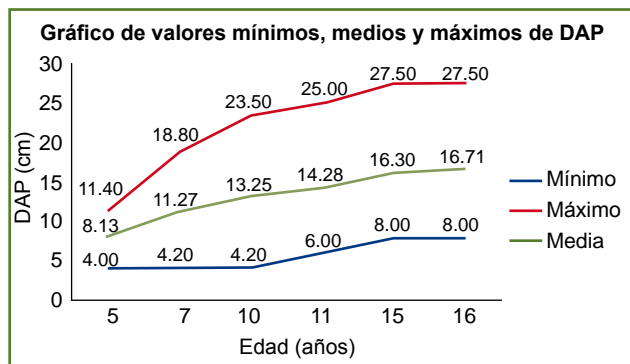


Figura 2. Valores medios, mínimo y máximos de diámetro a la altura del pecho (DAP) de *Handroanthus heptaphyllus* en sistema agroforestal.

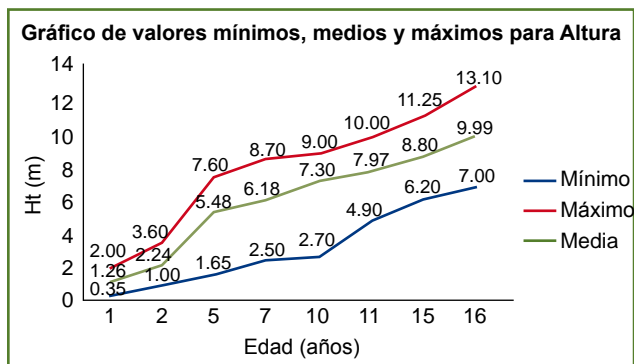


Figura 3. Valores medios, mínimo y máximos de altura total (Ht) de *Handroanthus heptaphyllus* en sistema agroforestal.

3.2 Crecimiento y productividad de *Handroanthus heptaphyllus* en un sistema agroforestal

El DAP medio para la edad de 16 años fue de 16,71 cm, con una altura total media para la misma edad de 9,99 m (Cuadro 3). Basado en esos datos, el volumen calculado usando un coeficiente de forma (cf) igual a 0,5 a la edad de 16 años fue de 16,22 m³ por hectárea, mientras que con un cf de 0,775 el volumen es de 25,14 m³ ha⁻¹ (Cuadro 3).

El IMA DAP decrece a través de los años como así también el IMA Ht. El mayor valor de incremento medio anual para diámetro se registró al año 11, mientras que el mayor valor de IMA en altura total se encontró a la edad de 5 años (Cuadro 3). En cuanto al IMA de volumen y volumen' ambos tienden a aumentar a mayores edades, excepto a la edad de 15 años en ambos IMA donde hay una pequeña disminución (Cuadro 3).

3.3 Estimación de biomasa y carbono almacenado en *Handroanthus heptaphyllus*

El valor de la biomasa calculado mediante el modelo convencional: $Biomasa = volumen \times densidad$ (1), para la edad de 16 años, utilizando un cf de 0,5 fue de 108,51 kg árbol⁻¹, equivalente a 16.058,77 kg ha⁻¹ (Cuadro 4). Por otro lado, mediante modelo alométrico de estimación de biomasa: $ln(Biomasa) = a + b * ln(DAP)$ (3), se calculó una biomasa de 109,06 kg árb⁻¹ y 16.140,91 kg ha⁻¹ correspondiente a la edad de 16 años con un cf de 0,5 (Cuadro 4). La diferencia porcentual entre los valores obtenidos mediante los dos modelos fue de 0,51 por ciento.

El valor de la biomasa calculado mediante el modelo convencional: $Biomasa = volumen \times densidad$, para la edad de 16 años, utilizando un cf de 0,775 (2), fue de 168,18 kg árbol⁻¹ y de 24.891,10 kg ha⁻¹ (Cuadro 5). Con el modelo alométrico con cf de 0,775 (4) se estimó una biomasa de 169,05 kg árbol⁻¹ y 25.018,71 kg ha⁻¹ (Cuadro 5). La diferencia porcentual entre los valores obtenidos mediante los dos modelos fue de 0,51 por ciento. Se observa que la relación matemática entre los resultados obtenidos utilizando ambos modelos se mantiene constante para la misma edad.

Cuadro 4. Biomasa de fuste estimada utilizando modelo convencional con coeficiente de forma (cf) = 0,5 y respectiva estimación mediante modelo alométrico propuesto por Montero y Montagnini (2005) con cf = 0,5.

Edad	Modelo Convencional		Modelo Alométrico		Diferencia porcentual
	(cf) de 0,5		Cf = 0,5		
	$Biomasa = volumen \times densidad$ biomasa (kg árb ⁻¹)	biomasa (kg ha ⁻¹)	$ln(Biomasa) = a + b * ln(DAP)$ y (kg árb ⁻¹)	y (kg ha ⁻¹)	
5	14,10	2.199,70	14,35	2.237,89	1,71%
7	30,52	4.761,06	30,47	4.753,25	0,16%
10	49,86	7.778,40	51,41	8.020,73	3,02%
11	68,09	10.077,61	68,88	10.194,56	1,15%
15	90,89	13.451,78	90,94	13.459,10	0,05%
16	108,51	16.058,77	109,06	16.140,91	0,51%

Los coeficientes (a; b) del modelo alométrico para las edades 5, 7, 10, 11, 15 y 16 fueron: (2,430; 2,430), (2,687; 2,520), (1,940; 2,276), (1,724; 2,209), (2,030; 2,343), y (1,701; 2,270) respectivamente.

La diferencia porcentual, tanto para las estimaciones con el modelo convencional y modelo alométrico considerando un cf de 0,5 como la diferencia porcentual entre ambos modelos y considerando un cf de 0,775 para la edad de 15 años fue de 0,05 por ciento como se muestra en los Cuadros 4 y 5, respectivamente. Esta menor diferencia puede estar sujeta a la correlación entre Ht y biomasa presentados a esta edad, donde se registró una disminución en el IMA Ht, disminuyendo de éste modo el desvío estándar entre altura total y edad.

Cuadro 5. Biomasa de fuste estimada utilizando modelo convencional con coeficiente de forma (cf) = 0,775 y respectiva estimación mediante modelo alométrico propuesto por Montero y Montagnini (2005) con cf = 0,775.

Edad	Modelo Convencional		Modelo Alométrico		Diferencia porcentual
	(cf) de 0,775		(cf) de 0,775		
	<i>Biomasa=volumen x densidad</i>		<i>ln(Biomasa)= a + b*ln(DAP)</i>		
	biomasa' (kg árb ⁻¹)	biomasa' (kg ha ⁻¹)	y' (kg árb ⁻¹)	y' (kg ha ⁻¹)	
5	21,86	3.409,53	22,24	3.468,73	1,71%
7	47,31	7.379,64	47,23	7.367,53	0,16%
10	77,29	12.056,51	79,69	12.432,13	3,02%
11	105,54	15.620,30	106,77	15.801,56	1,15%
15	140,88	20.850,27	140,96	20.861,60	0,05%
16	168,18	24.891,10	169,05	25.018,71	0,51%

Los coeficientes (a; b) del modelo alométrico para las edades 5, 7, 10, 11, 15 y 16 fueron: (1,992; 2,430), (2,249; 2,520), (1,502; 2,276), (1,286; 2,209), (1,592; 2,343), y (1,263; 2,270) respectivamente.

Calculando el volumen utilizando cf = 0,5 el carbono almacenado en el fuste para la edad de 16 años estimado mediante el modelo convencional fue de 54,25 kg por árbol y de 8,03 Mg por hectárea (Cuadro 6). Mediante modelo alométrico de estimación de biomasa, el carbono almacenado fue de 54,53 kg por árbol y de 8,07 Mg por hectárea. La diferencia porcentual entre los resultados obtenidos empleando ambos modelos a la edad de 16 años fue de 0,51 por ciento (Cuadro 6).

Utilizando el modelo convencional con un cf = 0,775 para la misma edad se estimó 84,09 kg de C almacenado en fuste por árbol, representando 12,45 Mg por hectárea (Cuadro 7). Mediante el modelo alométrico, el carbono almacenado estimado fue de 84,52 kg en fuste por árbol, representando 12,51 Mg por hectárea.

La diferencia porcentual entre resultados obtenidos con ambos modelos a la edad de 16 años es de 0,51 por ciento (Cuadro 7). Para la edad de 15 años, la diferencia porcentual entre los resultados obtenidos para las estimaciones de carbono almacenado considerando el modelo convencional y modelo alométrico fue de 0,05 por ciento, tanto con un cf de 0,5, como usando un cf de 0,775 (Cuadros 6 y 7, respectivamente).

Estimaciones recientes de carbono (C) para plantaciones de especies de rápido crecimiento en Misiones (*Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, y *Eucalyptus grandis*) para la edad de 20 años reportaron 211,47; 154,21 y 846,05 kg de carbono almacenado en fuste por árbol, respectivamente (Maiocco, 2003; Cuadro 1). En otro sitio, también en Misiones, en un sistema convencional de plantaciones de *Pinus taeda* se estimó 78,13 kg de carbono almacenado por árbol (Pinazo et al. s.f.). Maiocco (2003) estimó además carbono almacenado en *Araucaria angustifolia*, la cual presenta una tasa de crecimiento menor a las especies exóticas mencionadas anteriormente, equivalente a 152,69 kg por árbol a la edad de 20 años (Cuadro 1).

Estudios posteriores realizados en Wanda, también en la provincia de Misiones, ofrecen valores de acumulación de C en sistemas silvopastoriles (SSP) con árboles de *Pinus taeda* L. sobre Ultisoles, de 51 a 92 Mg C ha⁻¹ dependiendo de la intensidad de raleo, es decir, de la densidad de los árboles. Estos valores elevados de C por hectárea son en parte resultado de tratarse de SSP que utilizan especies maderables seleccionadas y con buen manejo en establecimientos comerciales (Pinazo et al. 2007, citado por Montagnini, este volumen).

Cuadro 6. Distintas estimaciones de carbono almacenado en fuste en *Handroanthus heptaphyllus* plantado en sistema agroforestal, usando coeficiente de forma de 0,5.

Coeficiente de forma (cf) de 0,5					
Edad	carbono almacenado (kg árb ⁻¹)	carbono almacenado (Mg ha ⁻¹)	carbono almacenado _y (kg árb ⁻¹)	carbono almacenado _y (Mg ha ⁻¹)	Diferencia porcentual
5	7,05	1,10	7,17	1,12	1,71%
7	15,26	2,38	15,23	2,38	0,16%
10	24,93	3,89	25,71	4,01	3,02%
11	34,05	5,04	34,44	5,10	1,15%
15	45,45	6,73	45,47	0,05	0,05%
16	54,25	8,03	54,53	8,07	0,51%

Carbono almacenado estimado a partir de (1) y Carbono almacenado y estimado a partir de (3).

Cuadro 7. Distintas estimaciones de carbono almacenado en fuste en *Handroanthus heptaphyllus* plantado en sistema agroforestal, usando coeficiente de forma de 0,775.

Coeficiente de forma (cf) de 0,775					
Edad	carbono almacenado' (kg árb ⁻¹)	carbono almacenado' (Mg ha ⁻¹)	carbono almacenado _y ' (kg árb ⁻¹)	carbono almacenado _y ' (Mg ha ⁻¹)	Diferencia porcentual
5	10,93	1,70	11,12	1,73	1,71%
7	23,65	3,69	23,61	3,68	0,16%
10	38,64	6,03	39,85	6,22	3,02%
11	52,77	7,81	53,38	7,90	1,15%
15	70,44	10,43	70,48	10,43	0,05%
16	84,09	12,45	84,52	12,51	0,51%

Carbono almacenado' estimado a partir de (2) y Carbono almacenado y' estimado a partir de (4).

5. CONCLUSIONES

Los valores de DAP para los 16 años de edad presentan un valor mínimo de 8 cm, un valor máximo de 27,5 cm y un valor medio de 16,71 cm. En cuanto a la altura total el valor medio a los 16 años es de 9,99 m mientras que la mínima es 7 m y la máxima es 13,10 m.

La estimación de biomasa y almacenamiento de carbono, considerando un coeficiente de forma de 0,5, para la edad de 16 años es de 108,61 kilogramos y 54,25 kilogramos de carbono por fuste, respectivamente. Realizando la estimación y considerando un coeficiente de forma de 0,775, para la edad de 16 años se calculó una biomasa de 168,18 kilogramos por fuste y 84,09 kilogramos de carbono por fuste.

Las estimaciones de carbono almacenado en fuste a diferentes edades con el modelo convencional y el modelo alométrico con un cf de 0,5 presentaron la menor diferencia porcentual a los 15 años de edad (0,05%). La mayor diferencia porcentual entre estimaciones desarrolladas con ambos métodos se registró a los 10 años de edad (3,02%). Se encontraron las mismas diferencias entre resultados para las estimaciones de ambos modelos cuando se usó un cf de 0,775. Por lo tanto, la diferencia porcentual entre las estimaciones del modelo convencional y del modelo alométrico para la especie bajo estudio es baja.

Datos de estimación de carbono almacenado en especies nativas como *Handroanthus heptaphyllus* en la provincia de Misiones, son relevantes para fomentar los mecanismos de conservación que incluyan compensación económica por fijación de carbono. Por ejemplo, estos datos pueden ser útiles para proyectos llevados a cabo a través del programa de colaboración de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación de bosques en los países en desarrollo (ONU-REDD+).

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Barth, SR. 2008. Adaptabilidad y crecimiento de especies nativas en áreas en recuperación del noroeste de la provincia de Misiones. Informe Final. Comité Ejecutivo de Desarrollo e Innovación Tecnológica (CEDITEC), Posadas, Misiones.
- Caldwell, IM; Maclaren, VW; Chen, JM; Ju, WM; Zhou, S; Yin, Y; Boland, A. 2007. An integrated assessment model of carbon sequestration benefits: A case study of Liping County, China. *Journal of Environmental Management* 85(3): 757-773.
- Dixon, RK. 1997. Silvicultural options to conserve and sequester carbon in forest systems: preliminary economic assessment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 27(1):139-149.
- Eibl, B; Silva, F; Bobadilla, A; Weber, E; Gonseski, D. 1995. Boletín Meteorológico Aeródromo Eldorado. Eldorado, Misiones, Argentina, Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales, FCF, UNaM.
- Eibl, B; Bohren, A; Méndez, R; Sosa, G; Di Stasi, M. 2002. Especies forestales nativas de la Selva Paranaense. Pecom Forestal S.A y Facultad de Ciencias Forestales (FCF), Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Fichas de divulgación 18. 33 p.
- Eibl, B; Montagnini, F; López, M; Montechiesi, R; Barth, S. *Ilex paraguariensis* (yerba mate) orgánica bajo dosel de especies nativas maderables, una propuesta de producción sustentable. Este volumen.
- Fassola, HE; Crechi, EH; Barth, SR; Keller, AE; Winck, RA; Martiarena, R; Von Wallis, A; Pinazo, M; Knebel, O. 2010. Modelos regionales de biomasa aérea de *Pinus taeda* para Misiones y NE de Corrientes, Argentina. 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF, UNaM, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Montecarlo, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). [Eldorado, Misiones, Argentina, 10-12 jun. 2010]
- Fernández Tscheder, E; Martiarena, R; Goya, J.; Lupi, A; Frangi, J. 2004. Ajuste de ecuaciones para la determinación de la biomasa de plantaciones de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze en el Norte de la provincia de Misiones. 11as Jornadas Técnicas Forestales. FCF, UNaM, EEA Montecarlo, INTA. [Eldorado, Misiones, Argentina, oct. 2004].
- Hutchinson, ID. 1974. Project of development of forestry and forestry industries, Paraguay. Reconnaissance forest inventory. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. Forestry Department, United Nations Development Programme (UNDP), New York, NY, USA.
- INTI – CITEMA (Instituto Nacional de Tecnología Industrial - Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria de la Madera y Afines). 2009. Densidad de maderas (Kg/m³) ordenadas por nombre común (en línea). Disponible En: http://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/pdf/densidad_comun.pdf
- López, JA; Little, E; Ritz, G; Rombold, J; Hahn, W. 1987. Árboles comunes del Paraguay: Ñande yvyra mata kuera. Paraguay, Cuerpo de Paz. 425 p.

- López, LN. 2010. Biomasa y cantidad de carbono almacenado en *Tabebuia heptaphylla*, en un sistema agroforestal con *Ilex paraguariensis*. Integradora II. Eldorado, Misiones, Argentina. FCF, UNaM.
- Maiocco, DC. 2003. Estudio para el fortalecimiento de la Provincia de Misiones en la implementación de proyectos relacionados al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Informe final. Consejo Federal de Inversiones. 27, 30, 43, 48 p.
- Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
- Montagnini, F; Eibl, B; Fernández, R. 2006. Rehabilitation of degraded lands in Misiones, Argentina. *Bois et Forêts des Tropiques* 288:51-65.
- Montagnini, F. Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. Este volumen.
- Montero, M; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 45:112-119.
- Newbould, PJ. 1967. Methods for estimating the primary production of forests. IBP Handbook 2. Oxford, UK, Blackwell Scientific. 62 p.
- Pinazo, MA; Martiarena, RA; Von Wallis, A; Crechi, E; Pahr, NM; Knebel, O. 2007. Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de *Pinus taeda* L. establecida sobre Ultisoles de Misiones. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA* 36(1):5-20.
- Placci, G; Di Bitetti, M. 2005. Situación ambiental en la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná (Selva Paranaense). Pp. 193-210. *En*: Brown, A; Martínez Ortíz, U; Acerbi, M; Corcuera, J. (Eds.). *La situación ambiental Argentina 2005*. FVS-Argentina. Buenos Aires.
- Redondo-Brenes, A; Montagnini, F. 2006. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 232:168-178.
- Résico, C; Burghi, M. 2010. Productos forestales no madereros: una nueva visión (en línea). Disponible *En*: http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PBVyAP/File/A1/Atlas/09_productos_no_madereros.pdf.
- Suirezs, TM. 2007. Apunte de cátedra. Descripción de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. FCF, UNaM, Eldorado, Misiones, Argentina.
- Thomas, SC; Malczewski, G; Sarprunoff, M. 2007. Assessing the potential of native tree species for carbon sequestration forestry in Northeast China. *Journal of Environmental Management* 85:663-671.
- Xu, W; Yin, Y; Zhou, S. 2007. Social and economic impacts of carbon sequestration and land use change on peasant households in rural China: A case study of Liping, Guizhou Province. *Journal of Environmental Management* 85(3):736-745.



Capítulo 15

SERVICIOS AMBIENTALES DE SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS: MEJORAMIENTO DEL SUELO Y RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Julián Chará^{1*}, Juan Carlos Camargo², Zoraida Calle¹, Liliana Bueno², Enrique Murgueitio¹,
Ligia Arias², Miguel Dossman², Enrique José Molina^{1,3}

¹ Centro para la investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV.
Carrera 25 # 6-62, Cali, Colombia. www.cipav.org.co

*Correo electrónico: julian@fun.cipav.org.co - Tel +57 (2) 5243061

² Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos, Facultad de
Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia

³ Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca, Colombia

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), además de aumentar la producción por unidad de área, tienen importantes efectos sobre la prestación de servicios ambientales, y favorecen la restauración de suelos y paisajes. Gracias a la mayor cantidad de biomasa producida y a la presencia de árboles y arbustos, estos sistemas incrementan la eficiencia en la captación de la energía solar, estimulan el ciclaje de nutrientes y mejoran la actividad de los organismos del suelo. Estos factores que contribuyen a que en los SSPi disminuya la compactación del suelo, aumente la porosidad y mejore la capacidad para almacenar agua o para permitir su infiltración, con lo cual se reduce la escorrentía, en comparación con los pastos sin árboles. En los suelos bajo SSPi también se presenta una mayor actividad enzimática por parte de los microorganismos del suelo que contribuyen a la degradación de la materia orgánica y a la solubilización del fósforo y otros nutrientes fundamentales para el sistema. Gracias a la mayor eficiencia por unidad de superficie, que permite liberar áreas para la restauración ecológica, y a que los sistemas arbolados sirven como hábitat y son más permeables al tránsito de las especies silvestres, los SSPi son piezas importantes en procesos de restauración de paisajes y de recuperación de la biodiversidad en las áreas productivas. De esta forma, los SSPi pueden contribuir a la prestación de importantes servicios ambientales relacionados con la protección del suelo, la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad, a la vez que mejoran la eficiencia y la rentabilidad del sistema productivo.





INTRODUCCIÓN

Estudios recientes han demostrado que algunas formas de intensificación natural de la producción agropecuaria pueden desempeñar un papel clave en la generación de alimentos de buena calidad, la rehabilitación de los ecosistemas degradados y la mitigación del cambio climático, y también han propuesto su escalamiento para aumentar la producción agropecuaria sin los efectos negativos de los sistemas industrializados (Gerber et al. 2013). Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) presentados por Murgueitio y colaboradores (este volumen), son una forma de intensificación natural de la producción, dado que basan su mejor rendimiento por unidad de área en el aprovechamiento de la energía solar y el reciclaje de nutrientes (Murgueitio et al. 2011, Calle et al. 2013).

Además de los beneficios productivos, las ventajas de los elementos que los componen y el tipo de manejo que reciben, los SSPi pueden contribuir a la oferta de servicios ambientales como la conservación de la diversidad y la regulación hídrica (Calle et al. 2012, Chará y Giraldo 2011). Los sistemas silvopastoriles combinan árboles y arbustos en el sistema productivo con gramíneas y leguminosas herbáceas. Esta combinación deliberada de plantas leñosas y herbáceas incrementa la eficiencia en la captura de energía solar y por lo tanto en la producción de biomasa, lo cual favorece el reciclaje de nutrientes y ayuda a proteger el suelo. Además, la mayor complejidad estructural de la vegetación promueve la diversidad de aves, artrópodos, bacterias y hongos, entre otros organismos que cumplen funciones ecológicas importantes para el sistema productivo y para la sociedad en general (Schroth et al. 2004, Harvey y Sáenz 2008, Chará y Giraldo 2011).

En relación con el mejoramiento y la productividad del suelo, los sistemas agroforestales en general y dentro de éstos, los sistemas silvopastoriles (SSP), actúan a través de varios mecanismos complementarios: a) protección del suelo de la radiación directa del sol, gracias a la cobertura de dosel y al aporte de hojarasca (McNeely y Schroth 2006), b) incremento de la entrada de nitrógeno por la presencia de plantas fijadoras de este elemento (Nair 2011), c) aumento en la disponibilidad de nutrientes como resultado de la mayor producción y descomposición de la biomasa de los árboles (Nair 2011), d) mayor recuperación de nutrientes de las capas profundas del suelo gracias a las raíces más largas de los árboles (Nair 2011), y e) mejoría en las propiedades físicas del suelo e incremento en la actividad microbiana por efecto de la penetración de las raíces de los árboles, factor que a su vez contribuye a la formación de agregados biogénicos del suelo, al reciclaje de nutrientes y al control de agentes patógenos (Nair et al. 2008, Vallejo et al. 2010). Algunos de estos factores a su vez reducen la vulnerabilidad de estos sistemas a fenómenos climáticos extremos al conservar la humedad del suelo y reducir el efecto desecante de las altas temperaturas y el viento sobre el estrato productivo.

Entre los factores relativos al manejo de SSPi que contribuyen a la conservación de la diversidad de organismos en el suelo y de la biota en general, vale la pena mencionar los periodos de ocupación cortos con cargas animales instantáneas, alternados con largos periodos de descanso (40 a 60 días) durante los cuales ocurre muy poca perturbación y los suelos y las plantas se recuperan del pastoreo. Además, la oferta directa de agua para los animales en cada potrero evita los daños causados por el ganado que consume el agua directamente en los cauces naturales, jagüeyes o reservorios, o tiene que desplazarse constantemente a sitios de bebida distantes del potrero.

En este capítulo se presentan los efectos de los SSPi sobre las propiedades del suelo y se detalla cómo estos efectos pueden contribuir a la generación de servicios ambientales relativos a la protección del suelo, la mejora en las propiedades hidrológicas, el reciclaje de nutrientes y el incremento de la materia orgánica, con las implicaciones que estos cambios tienen para el ciclo del carbono y el cambio climático.



1. EFECTOS DE LOS SSPi SOBRE EL SUELO

1.1 Efectos sobre propiedades hidrológicas del suelo

Diversos estudios llevados a cabo en Colombia, han encontrado un mayor deterioro de las propiedades físicas (mayor compactación, mayor densidad aparente y menor porosidad total e infiltración) en suelos cubiertos por monocultivos de gramíneas y sometidos a pastoreo convencional, que en los suelos de bosques aledaños y cultivos agroforestales (Sadeghian et al. 1999, Camargo et al. 2010). Estudios comparativos de suelos bajo SSPi de diferentes edades y pastos convencionales sin árboles en la Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca, Colombia, han registrado efectos marcados sobre las propiedades físicas. Los suelos en SSPi tuvieron mayor porcentaje de macro y mesoporos, menor densidad aparente ($< 1,4$ vs. $1,52 \text{ g cc}^{-3}$) y menor resistencia a la penetración ($< 3,3$ vs. $3,98 \text{ MPa}$) que los suelos de pasturas mejoradas respectivamente, lo que demuestra que el SSPi puede revertir la compactación generada por el pisoteo del ganado (Vallejo et al. 2010). Tocante a la edad de los sistemas, en general las mejores propiedades se observaron en los de 5 a 10 años, y una tendencia al aumento de macroporos con el tiempo de establecimiento, lo que está seguramente asociado a mayores contenidos de materia orgánica en el suelo.

Estos cambios influyeron también en las características del suelo relacionadas con la dinámica y conservación del agua. La conductividad hidráulica fue más alta en los SSPi que en las pasturas convencionales, lo cual indica que los sistemas arbolados tienen una mayor infiltración de agua. De igual manera, los SSPi contribuyeron a la retención de agua en el suelo, dado que la humedad de campo fue superior en los suelos bajo estos sistemas que en las pasturas sin árboles. Las características encontradas en las pasturas sin árboles están asociadas a una reducción de la aireación del suelo, de su capacidad para almacenar agua y de su nivel de infiltración, lo cual tiene efectos notables sobre el ciclo hidrológico local (Camargo et al. 2010). Para el caso de la Reserva Natural El Hatico, el cambio hacia SSPi permitió eliminar el riego en los potreros sin efectos notables sobre la producción. Esto se logró incluso durante al menos dos eventos de El Niño, caracterizados por una fuerte reducción de la precipitación en Colombia, incluyendo el año 2009, en el que se registró la menor precipitación en varias décadas (440 mm anuales), a pesar de lo cual se logró un aumento del 10% en la producción de leche con respecto al año anterior (Murgueitio et al. 2011). Esto demuestra que los SSPi pueden reducir la vulnerabilidad de la producción ganadera a los efectos negativos del cambio climático, gracias a que logran preservar mejor la humedad tanto en el suelo como en los forrajes y por lo tanto, pueden verse como parte de las estrategias de adaptación al cambio climático.

El efecto favorable de los SSP sobre las propiedades hidrológicas del suelo también es evidente en la medición de la escorrentía. En estudios llevados a cabo en Costa Rica y Nicaragua, Ríos et al. (2007) encontraron niveles de escorrentía equivalentes a 28-48% de la precipitación en pastos sin árboles y menos del 10% en los sistemas silvopastoriles. De igual forma, en la zona cafetera de Colombia, se registró una escorrentía equivalente a 30% de la precipitación medida en pasturas convencionales y sólo 2% bajo coberturas boscosas aledañas (Chará et al. 2010). La mayor escorrentía en los pastos sin árboles no sólo implica menor infiltración y menor recarga de los acuíferos, sino también otros efectos negativos tales como mayor pérdida de suelo, mayor fuga de nutrientes hacia los ambientes acuáticos y crecientes más frecuentes en los arroyos que drenan estos terrenos (Amézquita y Pinzón 1991, Chará et al. 2010).

1.2 Efectos sobre la materia orgánica y el flujo de nutrientes

Como se mencionó anteriormente, los arbustos y árboles en los SSPi suman estratos de vegetación capaces de capturar la energía solar para transformarla en biomasa, y forman raíces que penetran hasta las capas más profundas del suelo, desde donde extraen nutrientes y agua (Nair 2011). El mayor número de estratos también genera biomasa más abundante y heterogénea que se deposita sobre el suelo en forma de hojas, ramas, frutos, resinas y exudados con efectos importantes sobre los nutrientes, la materia orgánica y la biota (Vallejo et al. 2012). A esto se suma el efecto de los árboles y arbustos fijadores de nitrógeno y el de otras asociaciones entre árboles y microorganismos que contribuyen a solubilizar o hacer disponibles otros nutrientes vitales para la producción de los pastos (Malchair et al. 2010).

La biota del suelo cumple funciones ecológicas claves que contribuyen a la conservación de las propiedades físicas y la disponibilidad de nutrientes. Los microorganismos del suelo juegan un papel fundamental en el funcionamiento del ecosistema como mediadores de la descomposición, el reciclaje de nutrientes y el almacenamiento de carbono en formas estables (Coleman y Whitman 2005). De igual manera, los macroinvertebrados del suelo, que incluyen miriápodos, colémbolos, artrópodos y anélidos, entre otros, son fundamentales en los procesos de bioturbación (desplazamiento y mezcla de partículas del suelo por animales y plantas), aireación y degradación de la materia orgánica en los sistemas naturales y productivos (Spector 2006, Nichols et al. 2008).

Varios estudios han encontrado una mayor abundancia y actividad de macro y microorganismos en los SSPi que en las pasturas aledañas. En cuanto a la microbiota, Vallejo et al. (2012) encontraron que SSPi de diferentes edades presentaron mayor biomasa de hongos, actinomicetos y micorrizas, y que la biomasa de bacterias tuvo una tendencia a incrementarse con la edad de los SSPi. En cuanto a macroinvertebrados, en un estudio llevado a cabo por Giraldo et al. (2011a) en la zona cafetera colombiana se encontró que la abundancia de escarabajos coprófagos fue significativamente superior en SSPi que en pasturas mejoradas ($P < 0,001$).

1.3 Implicaciones para productividad y la captura de carbono

Una fracción importante del carbono presente en la biosfera es almacenado en la materia orgánica de los suelos. De hecho, el carbono orgánico del suelo puede ser tres veces mayor que el retenido en la biomasa aérea (Lal et al. 1995), razón por la cual “la dinámica del carbono en la biosfera depende en gran medida de lo que ocurra en los suelos” (Moreno y Lara 2003). El nivel de materia orgánica de los suelos es el resultado de complejos procesos de producción y descomposición, que son afectados en gran medida por el tipo de suelo. Los andisoles, por ejemplo, tienen una gran capacidad para almacenar materia orgánica y carbono orgánico debido a la presencia de complejos organominerales (Botero 2000, Veldkamp 1993). Las pasturas bien manejadas presentan un alto potencial para almacenar carbono orgánico en el suelo, debido a la dinámica de intercambio de este elemento por la producción y muerte de las raíces finas en las capas más superficiales (Kanninen 2000, Moreno y Lara 2003). De igual manera, los árboles y arbustos de los SSP también promueven mayor secuestro de carbono por unidad de área. En un estudio en Costa Rica, los SSP tuvieron un potencial de almacenamiento de carbono de $1,2$ a $4,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras en pasturas sin árboles el almacenamiento fue de menos de $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Ibrahim et al. 2010).

almacenamiento de carbono, debido a sus condiciones naturales (la mayoría andisoles), las condiciones climáticas y a algunos usos como cultivos mixtos y sistemas silvopastoriles, donde se encuentran valores altos de materia orgánica. En los 50 cm superficiales se hallaron entre 74,83 y 229,01 Mg C ha⁻¹ en cultivos mixtos y 92,77 a 188,73 Mg C ha⁻¹ en sistemas silvopastoriles. La cobertura o uso del suelo y las prácticas de manejo que contribuyen a reducir la erosión, influyen en la descomposición de la materia orgánica y en una mayor productividad biológica, y consecuentemente, en una capacidad de almacenar carbono que puede ser incluso más elevada que algunos ecosistemas naturales (Botero 2000, Etchevers et al. 2001, Dossman et al. 2009). Por otra parte, un estudio realizado en SSPi con leucaena en el departamento del Valle del Cauca, Colombia, evidencia que el suelo es el componente del sistema que más carbono almacena con 94,6% del total, que equivale a 555,43 Mg CO₂ ha⁻¹ en época seca y 559,27 Mg CO₂ ha⁻¹ en época de lluvias (Arias-Giraldo et al. 2009), ambos a 50 cm de profundidad. Este aporte desde el recurso suelo, sumado a la fijación de carbono en la biomasa (Arias-Giraldo et al. 2009), evidencian la importancia de estos sistemas en la mitigación del cambio climático.

1.4 Efecto sobre el contenido de nitrógeno (N) en el suelo

Uno de los beneficios de los sistemas silvopastoriles que incluyen leguminosas en el estrato arbóreo es la posibilidad de incrementar los niveles de nitrógeno en el suelo y en la planta a través de la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* (Beer et al. 2003, Powlson et al. 2011). En un estudio llevado a cabo por Bueno y Camargo (2012) se comparó el N edáfico y foliar en plantas de leucaena sometidas a inoculación con *Rhizobium*, y el efecto de la aplicación de urea equivalentes a dosis de 250, 500 y 1000 kg ha⁻¹. La nodulación resultó afectada negativamente a medida que se incrementó la dosis de urea aplicada. Para el N total del suelo, se observó un valor equivalente a 240 kg ha⁻¹ después de 25 semanas en el tratamiento con inoculación, demostrando que gracias al nitrógeno fijado por la leucaena no es necesaria la aplicación de este fertilizante.

En otro trabajo de Bueno (2014) fue posible apreciar la morfología variable de los nódulos presentes en las raíces de plantas jóvenes de leucaena, tanto inoculadas como sin inocular (Figuras 1a y 1b). Los nódulos de interior rojizo (Figura 1c) indican la actividad de la leghemoglobina, que cumple una función fundamental en la fijación del nitrógeno atmosférico (Marquina et al. 2011).

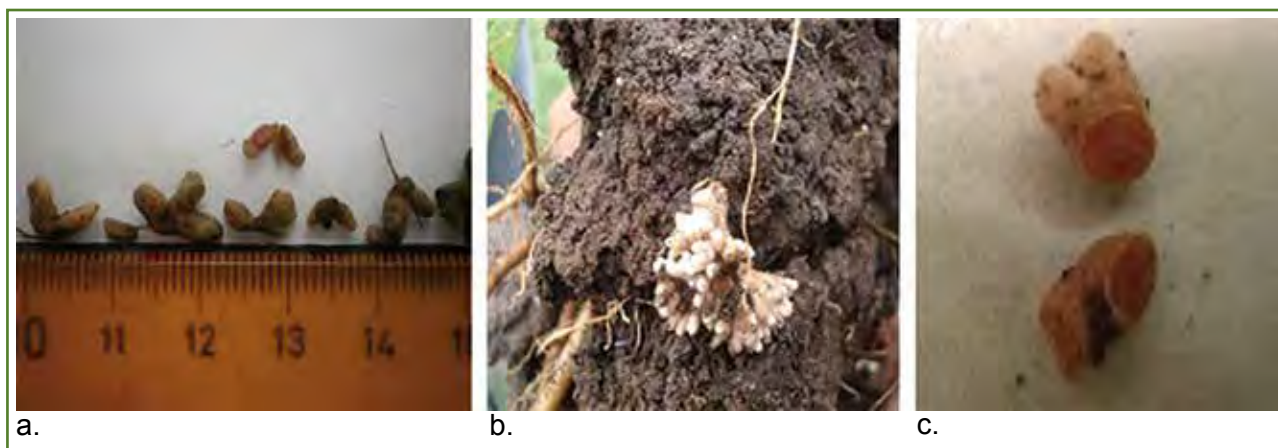


Figura 1. a. Morfología de nódulos presentes en raíces de leucaena de 6 meses de edad; b. Raíz de leucaena de cuatro meses de edad con nódulos; c. Interior de un nódulo activo, en el que se observa su coloración rosada (Bueno y Camargo 2012).

De la misma forma, Bueno (2014), evaluó los cambios en el N edáfico (total y amoniacal) y foliar en plantas de leucaena y encontró que después de siete meses el aporte de N al sistema por efecto de la simbiosis con *Rhizobium* fue de 249 kg ha⁻¹, que equivalen a más de media tonelada de urea (Figura 2a). En los sistemas silvopastoriles intensivos los contenidos más altos de N (total y amoniacal) en el suelo se encuentran en los sistemas más antiguos (Figura 2b; Bueno, 2014). El contenido de N total en el suelo es en promedio mayor en los SSPi que en las pasturas sin árboles (0,53% vs. 0,40%), lo cual demuestra que bajo los SSPi los niveles de N tienden a aumentar y mantenerse por encima de los que se registran en las pasturas sin árboles, incluso cuando éstas tienen aportes de fertilizantes (Figura 2b). Este mayor contenido de N en el suelo también se traduce en forraje de mejor calidad nutricional y en grandes ahorros en el uso de fertilizantes nitrogenados (Murgueitio et al. 2011). Para el caso particular del predio en el que se llevó a cabo el estudio, la introducción de los SSPi con leucaena llevó a eliminar el uso de la urea (400-500 kg ha⁻¹ año⁻¹) a la vez que se incrementó la capacidad de carga de 3,5 a 4,5 Unidades Gran Ganado (UGG)¹ por hectárea y la producción de leche por hectárea pasó de 9.500 a 15.800 L ha⁻¹ año⁻¹ (Molina et al. 2009).

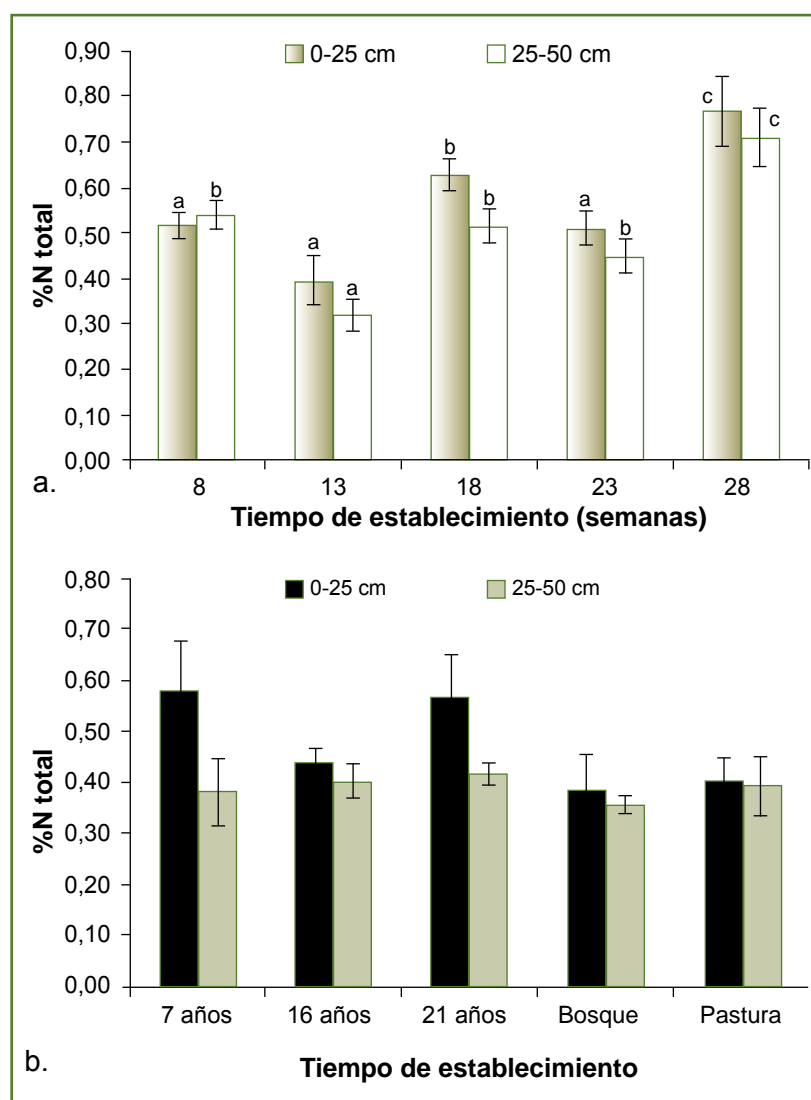


Figura 2. a. Comportamiento de nitrógeno total en el suelo en parcelas experimentales, con respecto al tiempo (letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas; las líneas sobre las barras indican desviación estándar); b. Comportamiento de nitrógeno total en suelo, con respecto al uso de suelo y tiempo de establecimiento de SSPi en la Hacienda Lucerna, Valle del Cauca, Colombia (Bueno 2014).

¹ Una Unidad de Gran Ganado = 450 kg de peso vivo.

1.5 Efecto sobre la disponibilidad de otros nutrientes

Los mejores valores de resistencia a la penetración y porosidad del suelo registrados en los SSPi y mencionados anteriormente, al igual que una rizosfera diversa son condiciones favorables para que la microbiota del suelo pueda cumplir sus funciones (Vallejo et al. 2010). Microorganismos como los hongos y en particular las micorrizas, contribuyen a la formación y estabilización de microagregados, lo que mejora la aireación y la penetración de las raíces (Gupta y Germida 1988).

Al comparar suelos en SSPi de diferentes edades de establecimiento y pasturas mejoradas en el Valle del Cauca, Vallejo et al. (2010) encontraron una mayor actividad de β -glucosidasa, fosfatasa ácida y fosfatasa alcalina en los SSPi. Esto no sólo indica una mayor actividad microbiana en los suelos con SSPi, sino que permite explicar la razón por la cual en estos sistemas se sostiene la producción de forrajes y leche, incluso sin la aplicación de fertilizantes externos, dado que estas enzimas juegan un papel fundamental en el reciclaje y disponibilidad de nutrientes y energía en el suelo del sistema. De esta forma, se evidencia que los SSPi mejoran la capacidad de la microbiota para llevar a cabo procesos de descomposición y mineralización. Por otra parte, en un SSPi con arbustos de leucaena y árboles de *Prosopis juliflora* en el estrato superior, Vallejo et al. (2012) observaron niveles significativamente mayores de C orgánico, N total, nitratos y fósforo (P) disponible bajo el dosel de estos árboles, lo cual estuvo acompañado de mayores niveles de biomasa microbiana.

2. CONTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS A LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Los sistemas silvopastoriles intensivos pueden contribuir a la restauración ecológica en los agropaisajes ganaderos a través de tres mecanismos complementarios:

1. La intensificación natural de la ganadería en los terrenos más aptos permite liberar las áreas frágiles o estratégicas, para la recuperación de los bosques y otros ecosistemas.
2. Gracias a su vegetación de estructura compleja, el SSPi es un hábitat adecuado para una parte de la biodiversidad local y un generador importante de servicios ambientales.
3. Los arbustos en alta densidad y los árboles de sombrero convierten al SSPi en una matriz más permeable al movimiento de la fauna y la flora que los sistemas ganaderos sin árboles. Esto facilita la dispersión de semillas y la restauración espontánea de los bosques en el paisaje.

2.1 Liberación de áreas para restauración

Como resultado de la alta producción de biomasa, que determina un aumento en la eficiencia productiva por unidad de área, los SSPi permiten concentrar la actividad ganadera en los terrenos más aptos para el pastoreo bovino (aquellos con pendientes más moderadas y suelos más fértiles) sin reducir la población de ganado ni la rentabilidad del predio. Así, las tierras marginales o frágiles por su susceptibilidad a la erosión y las áreas estratégicas por su importancia para la biodiversidad, tales como los corredores ribereños, quedan disponibles para la restauración ecológica.

Este patrón se observó al final del proyecto regional *Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas*, que se desarrolló entre 2002 y 2007 en la cuenca del río La Vieja, en Colombia. Los predios ganaderos que implementaron sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena no sólo conservaron las áreas de bosques maduros y secundarios sino que también incrementaron en un 12% las áreas dedicadas a la conservación y restauración espontánea (bosques ribereños jóvenes, sucesión vegetal y bosques de bambú) con respecto a su extensión inicial (Zapata 2012).

2.2 Hábitat complementario para la biodiversidad local

La cobertura de dosel, la diversidad de árboles y la complejidad estructural de la vegetación contribuyen a mejorar el hábitat para organismos como aves, mamíferos, reptiles e invertebrados, que encuentran refugio y recursos alimenticios en el SSPi. En un estudio basado en entrevistas a los ganaderos que adoptaron sistemas silvopastoriles en la cuenca media del río La Vieja (Calle et al. 2009), 71% de los productores mencionaron un aumento en la abundancia y diversidad de aves; 54% percibieron un aumento en la diversidad general de plantas y animales en sus fincas y en la abundancia de pequeños mamíferos en los potreros (36%) o corredores ribereños (32%); 21% citaron un mejoramiento en el control biológico natural; y 11% mencionaron un aumento en el avistamiento de especies raras y en peligro (Calle et al. 2009). El monitoreo de la avifauna de las fincas ganaderas de esta región mostró que en promedio, los SSPi tienen cuatro veces más aves y una riqueza de especies 35% mayor que los monocultivos de gramíneas (Fajardo et al. 2010).

En un estudio a la escala del paisaje en la región andina de Colombia, que comparó la riqueza de hormigas entre diferentes usos de la tierra, el número de especies mostró una alta correlación con la cobertura de dosel. La riqueza de especies de hormigas en los SSPi fue 62% superior a la observada en los potreros sin árboles en el mismo paisaje (Rivera et al. 2013). Se registraron 127 especies de hormigas en bosques secundarios (incluyendo 27 exclusivas de este uso de la tierra), 96 especies en bosques de bambú de la especie *Guadua angustifolia* (18 exclusivas), 123 especies en sistemas ganaderos con árboles en alta densidad (16 exclusivas), 55 especies en potreros sin árboles (3 exclusivas) y 89 especies en SSPi recién establecidos y con los árboles todavía pequeños (11 exclusivas). El sistema ganadero ideal sugerido para este paisaje tendría la misma cobertura de dosel que el potrero con árboles y una alta densidad de arbustos que estarían disponibles para el ramoneo del ganado. Por lo tanto, se espera que con el tiempo los SSPi vayan ganando especies de artrópodos hasta alcanzar o superar el nivel de riqueza de los pastizales con árboles en alta densidad (Rivera et al. 2013). En la misma zona, la abundancia de escarabajos estercoleros en los SSPi fue el doble, y la riqueza de especies 66% mayor en los SSPi que en los monocultivos de pastos sin árboles (Giraldo et al. 2011a).

Este aumento de la diversidad biológica se refleja en la provisión de servicios ambientales como la polinización y el control biológico de organismos nocivos para los pastos y el ganado (Giraldo et al. 2011b) y es un indicador importante de la sostenibilidad de este uso de la tierra. En el estudio de Giraldo et al. (2011a), el incremento en la abundancia y riqueza de escarabajos estuvo acompañado de un aumento significativo en la cantidad de estiércol enterrado y de suelo removido debajo de las bostas del ganado. Esto redundaba en beneficios para el sistema productivo relacionados con el control biológico de las moscas hematófagas que atacan al ganado, así como para la recuperación física de suelos compactados.

Por otra parte, el aumento en la cobertura vegetal que se logra como resultado de la adopción de SSPi con más de tres estratos, unido a la alta producción de biomasa de los arbustos y árboles que componen el sistema, y a procesos ecológicos como la fijación de nitrógeno, el depósito de hojarasca

en el suelo y la solubilización de minerales, contribuyen a la recuperación de suelos degradados. En el valle del río Cesar, situado en el Caribe seco de Colombia, los SSPi han sido exitosos en la rehabilitación de suelos que presentaban una marcada degradación física como resultado de varias décadas de cultivo intensivo de algodón (Calle et al. 2012). Tal como se observa en la Figura 3, los suelos que habían soportado alrededor de 20 años de monocultivo de algodón, debido a procesos de compactación y excesiva aplicación de agroquímicos, tenían poca cobertura vegetal, pobre drenaje, y erosión hídrica y eólica. Sobre esa misma área, una vez establecido el SSPi, la cobertura vegetal de pastos, arbustos y árboles contribuyó al mejoramiento de las propiedades del suelo gracias, entre otros factores, a la mayor producción de biomasa, la fijación de nitrógeno y la protección del viento y los rayos solares.



Figura 3. Restauración de suelos afectados severamente por el cultivo de algodón mediante sistemas silvopastoriles intensivos en el Valle del río Cesar, Colombia. a. Suelos antes de la siembra con SSPi con problemas de compactación y pérdida de vegetación; b. Terreno cuatro meses después de la siembra del SSPi con recuperación de la cobertura vegetal. Fotos: Julián Chará, CIPAV.

2.3 Permeabilidad de la matriz ganadera

A la escala del paisaje, los SSPi pueden contribuir a la conectividad entre parches de bosque, así como a la recuperación de sitios estratégicos para la prestación de servicios ambientales (Calle et al. 2012). Se han documentado varios ejemplos en los cuales el movimiento de organismos es facilitado por SSP. Por ejemplo, Fajardo et al. (2010) observaron aves dependientes del bosque moviéndose a través de pasturas con árboles en el paisaje de la cuenca del río La Vieja. Una matriz permeable a estos movimientos puede evitar el colapso de pequeñas poblaciones de especies silvestres que se encuentran aisladas en los fragmentos de bosque.

El SSPi es un ejemplo de la solución al falso dilema entre la “tierra reservada” (“land sparing”) y la “tierra compartida” (“land sharing”), que ha sido planteado en el mundo científico en términos de dos alternativas contrapuestas (Fischer et al. 2008). La primera, conocida como tierra reservada (land sparing), es una estrategia de conservación que busca maximizar la producción agrícola en sistemas de alto rendimiento con el fin de destinar otras tierras exclusivamente para la protección y conservación de los hábitats naturales (Balmford et al. 2005). Sus defensores proponen separar las tierras productivas de las áreas de conservación y sostienen que ésta es la forma más efectiva de alimentar a la población humana y a la vez conservar la biodiversidad. La alternativa de la tierra compartida (land sharing) propone integrar ambos objetivos en paisajes multifuncionales complejos mediante prácticas productivas más sostenibles y compatibles con la biodiversidad (Perfecto y Vandermeer 2008). Investigaciones recientes sugieren que ciertos agropaisajes y prácticas agrícolas proveen a la sociedad de servicios ambientales fundamentales y a la vez contribuyen en forma significativa a la conservación de la biodiversidad.

Los SSPi son un ejemplo de una tercera vía, que permite superar este dilema. Esta alternativa se basa en la intensificación natural del sistema productivo, y reúne las ventajas de las dos opciones anteriores (Perfecto y Vandermeer 2010). Tal como lo propone la alternativa de la tierra reservada, los SSPi intensifican la producción en sistemas de alto rendimiento, pero al mismo tiempo son una forma de producción compatible con la propuesta de diseñar paisajes multifuncionales de alto valor para la biodiversidad, sin sacrificar la productividad y rentabilidad de las actividades agrícolas.

CONCLUSIONES

Los SSPi generan beneficios a la escala del predio tales como el mejoramiento en la productividad del suelo, la conservación del agua y el reciclaje de nutrientes fundamentales para el sistema como son el nitrógeno y el fósforo, entre otros. Estos beneficios se traducen en mayores rendimientos, menores costos de producción, menor dependencia de insumos externos, menos vulnerabilidad al cambio climático y mayor control natural de plagas y enfermedades. De igual manera, por sus efectos sobre el ciclo del carbono, la regulación hidrológica y el incremento de la biodiversidad, los SSPi prestan importantes servicios a la sociedad en general.

A pesar de los beneficios anotados, existen barreras técnicas, culturales y financieras para la adopción masiva de estos sistemas. La valoración de los beneficios para el predio y el reconocimiento por las externalidades positivas generadas por el sistema pueden contribuir a desarrollar incentivos para estimular la implementación de estos sistemas en el futuro.

Agradecimientos

A COLCIENCIAS y al Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, por el apoyo al Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Convenio 0823-2013). A F. Montagnini y un evaluador anónimo, por su contribución para mejorar el manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Amézquita, E; Pinzón, A. 1991. Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas Tropicales* 13:21-26.
- Arias-Giraldo, LM; Camargo, JC; Dossman, MA; Echeverry, MA; Rodríguez, JA; Molina, CH; Molina, EJ; Melo, ID. 2009. Estimación de biomasa aérea y desarrollo de modelos alométricos para *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el valle del Cauca, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* 58:32-39.
- Balmford, A; Green, RE; Scharlemann, JPW. 2005. Sparing land for nature: exploring the potential impact of changes in agricultural yield on the area needed for crop production. *Global Change Biology* 11(10):1594-1605.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, J; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería de las Américas* 10:17-28
- Botero, JA. 2000. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. *En: Sánchez, MD; Rosales Méndez, M. (Eds.). Memorias, Segunda Conferencia Electrónica de Agroforestería para la Producción Animal en América Latina [virtual, agosto 2000-marzo 2001].* p. 75-92.
- Bueno, L; Camargo, JC. 2012. Cambios del nitrógeno durante etapas de desarrollo temprano de la leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit) (en línea). *Livestock Research for Rural Development* 24(33). Disponible *En:* <http://www.lrrd.org/lrrd24/2/buen24033.htm>
- Bueno, L. 2014. Cambios en el nitrógeno del suelo bajo sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala*. Tesis MS. Ecotecnología, Facultad Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. 89 p.
- Calle, A; Montagnini, F; Zuluaga, AF. 2009. Farmer's perceptions of silvopastoral system promotion in Quindío, Colombia. *Bois et Forêts des Tropiques* 300(2):79-94.
- Calle, Z; Murgueitio, E; Chará, J. 2012. Integrating forestry, sustainable cattle-ranching and landscape restoration. *Unasylva* 63:31-40.
- Calle, Z; Murgueitio, E; Chará, J; Molina, CH; Zuluaga, AF; Calle, A. 2013. A strategy for scaling up intensive silvopastoral systems in Colombia. *Journal of Sustainable Forestry* 32:677-693.
- Camargo, J; Chará, J; Giraldo, L; Chará-Serna, A; Pedraza, G. 2010. Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de ambientes acuáticos en la Ecorregión Cafetera de Colombia: 1. Efectos sobre las propiedades del suelo. *Revista Recursos Naturales* 61:47-53.
- Chará, J; Giraldo, L; Chará-Serna, A; Pedraza, G. 2010. Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de ambientes acuáticos en la Ecorregión Cafetera de Colombia: 2. Efecto sobre la escorrentía y captura de nutrientes. *Revista Recursos Naturales* 61:54-60.
- Chará, J; Giraldo, C. 2011. Servicios Ambientales de la Biodiversidad en Paisajes Agropecuarios. Cali, Colombia, CIPAV. 76 p.
- 344 Coleman, DC; Whitman, WB. 2005. Linking species richness, biodiversity and ecosystem function in soil systems. *Pedobiologia* 49:479-497.
-

- Dossman, MA; Arias-Giraldo, LM; Camargo, JC. 2009. Identificación y valoración de los servicios ecológicos prestados por los suelos bajo distintas coberturas en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* 58:17-24.
- Etchevers, J; Acosta, M; Monreal, C; Quednow, K; Jiménez, L. 2001. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. Simposio Internacional "Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales". [Valdivia, Chile, 18-20 oct. 2001].
- Fajardo, D; Johnston-González, R; Neira, L; Chará, J; Murgueitio, R. 2010. Influencia de los sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la Cuenca del río La Vieja, Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente* 58:9-16.
- Fischer, J; Brosi, B; Daily, GC; Ehrlich, PR; Goldman, R; Goldstein, J; Lindenmayer, DB; Manning, AD; Mooney, HA; Pejchar, L; Ranganathan, J; Tallis, H. 2008. Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:380-385.
- Galindo, W; Murgueitio, E; Giraldo, L; Marín, A; Uribe, L; Berrío, L. 2003. Manejo Sostenible de los Sistemas Ganaderos Andinos. Cali, Colombia, Fundación CIPAV. 213 p.
- Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falucci, A; Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome, FAO.
- Giraldo, C; Escobar, F; Chará, J; Calle, Z. 2011a. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity* 4:115-122.
- Giraldo, C; Chará, J; Calle, Z; Murgueitio, E. 2011b. Recuperación de funciones ecológicas en fincas ganaderas con sistemas silvopastoriles intensivos, mediada por insectos parasitoides, depredadores y descomponedores. *En: Ríos, O; Reyes, S. (Eds.). La Restauración Ecológica en la Práctica: Memorias del I congreso colombiano de restauración ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica.* Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 633 p.
- Gupta, VV; Germida, JJ. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* 20:777-786.
- Harvey, C; Sáenz, JC. 2008. Conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados y rurales de Mesoamérica: Qué hemos aprendido y qué todavía necesitamos conocer. Pp. 653-662 *En: Harvey, C; Sáenz, JC. (Eds.). Evaluación y Conservación de la Biodiversidad en Paisajes Fragmentados de Mesoamérica.* Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. Editorial Instituto de Biodiversidad (INBio).
- Ibrahim, M; Guerra, L; Casasola, F; Neely, C. 2010. Importance of silvopastoral systems for mitigation of climate change and harnessing of environmental benefits *In: Abberton, M; Conant, R; Bateillo, C. (Eds.). Grassland carbon sequestration: management, policy and economics.* Proceedings of the Workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change. Plant Production and Protection Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. *Integrated Crop Management* Vol. 11.

- Kanninen, M. 2000. Secuestro de carbono en bosques: El papel de los bosques en el ciclo global de carbono. Pp. 99-109 *En*: Sánchez, MD; Rosales M. (Eds.). Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. Roma, FAO.
- Kumar, BM; George, SJ; Jamaludheen, V; Suresh, TK. 1998. Comparison of biomass production, tree allometry and nutrient use efficiency of multipurpose trees grown in woodlot and silvopastoral experiments in Kerala, India. *Forest Ecology and Management* 112:145-163.
- Lal, R; Kimble, J; Levine, E; Whitman C. 1995. World soils and greenhouse effect: An overview. Pp. 41-59 *In*: Kimble, J; Levine, E; Steward B. (Eds.). Soils and global change. Advances in Soil Science series, Boca Ratón, Florida, CRC Press.
- Malchair, S; De Boeck, HJ; Lemmens, CM; Ceulemans, R; Merckx, R; Nijs, I; Carnol, M. 2010. Diversity–function relationship of ammonia-oxidizing bacteria in soils among functional groups of grassland species under climate warming. *Applied Soil Ecology* 44:15-23.
- Marquina, ME; González, NE; Castro, Y. 2011. Caracterización fenotípica y genotípica de doce rizobios aislados de diversas regiones geográficas de Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 59(3):1017-1036.
- McNeely, JA; Schroth, G. 2006. Agroforestry and biodiversity conservation – traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity Conservation* 15:549-554.
- Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
- Molina, CH; Molina, CH; Molina, EJ; Molina, JP. 2009. Carne, leche y mejor ambiente en el sistema silvopastoril con *Leucaena Leucocephala* (Lam.) de Wilt, Mimosaceae. *En*: Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, JF. (Eds.). Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Cali, Colombia, CIPAV. 490 p.
- Moreno, FH; Lara, W. 2003. Variación del carbono orgánico del suelo en bosques primarios intervenidos y secundarios. *En*: Orrego SA; Del Valle, JI; Moreno, FH. (Eds.). Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ciencias Forestales, Centro Andino para la Economía en el Medio Ambiente.
- Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261:1654-1663
- Murgueitio, E; Xóchitl Flores, M; Calle, Z; Chará, JD; Barahona, R; Molina, CH; Uribe, F. Productividad en Sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. Este volumen.
- Nair, PKR. 2011. Agroforestry systems and environmental quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 40:784-790.
- Nair, PKR; Gordon, AM; Mosquera-Losada, MR. 2008 Agro-forestry. Pp. 101–110 *In*: Jorgensen, SE; Fath, BD. (Eds.). Ecological Engineering. Encyclopedia of Ecology, Vol. 1, Oxford, Elsevier.
- Nichols, E; Spector, S; Louzada, J; Larsen, T; Amezcua, S; Favila, ME. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation* 141:1461-1474.
- Perfecto, I; Vandermeer, J. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems - A new conservation paradigm. *Annals of the New York Academy of Science* 1134:173-200.
- Perfecto, I; Vandermeer, J. 2010. The agricultural matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 107(13):5786-5791.

- Powlson, DS; Gregory, PJ; Whalley, WR; Quinton JN; Hopkins, DW; Whitmore, AP; Hirsch, PR; Goulding, KWT. 2011. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy* 36:S72-S87
- Ríos, N; Cárdenas, A; Andrade, H; Ibrahim, M; Jiménez, M; Sancho, F; Ramírez, E; Reyes, B; Woo, A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:66-71.
- Rivera, LF; Ambrecht, I; Calle Z. 2013. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181:188-194.
- Sadeghian, S; Rivera, J; Gómez, M. 1999. Impacto de la ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Pp. 123-141 *En: Sánchez, M; Rosales, M. (Eds.). Agroforestería para la producción animal en América Latina. Estudios de Producción y Sanidad Animal, Roma, FAO.*
- Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (Eds.). 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes.* Washington DC, Island Press. 523 p.
- Spector, S. 2006. Scarabaeine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. *Coleopterists Bulletin* 60:71-83.
- Vallejo, VE; Roldán, F; Dick, RP. 2010. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest in Colombia. *Biology and Fertility of Soils* 46:577-587.
- Vallejo, VE; Averly, Z; Terán, W; Lorenz, N; Dick, RP; Roldán, F. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 150:139-148.
- Veldkamp, E. 1993. Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica. Tesis PhD. Wageningen, Netherlands, University of Wageningen.
- Zapata, YC. 2012. Impacto del pago por servicios ambientales y la asistencia técnica en la adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles en la cuenca del río La Vieja, Colombia. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 63 p.



348

SAF de café con árboles nativos, en finca el Ocaso, Salento, Quindío, Colombia. Foto: F. Montagnini.

Capítulo 16

CAFÉ EN COLOMBIA: SERVICIOS ECOSISTÉMICOS, CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Gabriel Chait¹

¹ Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios Ambientales,
195 Prospect St., New Haven, CT, 06511, EE.UU. Correo electrónico: gabriel.chait@yale.edu

RESUMEN

Colombia es uno de los países productores de café más importantes del continente americano. Su producción incorpora 560.035 caficultores quienes son dominados por pequeños productores que manejan parcelas entre 3-5 hectáreas tradicionalmente cultivadas bajo sombra. Los servicios ecosistémicos prestados por las plantaciones de café en estas regiones son un factor importante al considerar las opciones de manejo. Cafetales cultivados en sistemas agroforestales tienen el potencial de afectar beneficiosamente el bosque y la salud de los cultivos, especialmente en comparación con las plantaciones a pleno sol. Este capítulo examina las diferencias entre los servicios ecosistémicos proporcionados por cafetales bajo sombra en sistemas agroforestales, con las de café a pleno sol. Se incorporan los aspectos ecológicos, económicos y de biodiversidad en el contexto colombiano. También se explora el tema de servicios ecosistémicos en la estructura política de la producción de café en Colombia y los incentivos del mercado que impulsan las decisiones de manejo de cafetales en el país.



350

SAF de café con árboles nativos, en finca el Ocaso, Salento, Quindío, Colombia. Foto: F. Montagnini.

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos agrícolas tropicales más importantes del mundo; su valor de exportación en los países tropicales sólo es superado por el del petróleo. Más de 25 millones de personas en el mundo dependen de la producción de café para su supervivencia; además, el 70% de los productores de café son pequeños productores (Toledo y Moguel 2012). Su cultivo ocupa más de 12 millones de hectáreas que coinciden con 13 de los 25 puntos críticos de biodiversidad en el mundo (Perfecto 2005). Debido a la creciente demanda mundial por el café, los impactos ambientales y sociales de su producción en los países tropicales y el estudio de los sistemas de manejo se han vuelto especialmente pertinentes (Myers et al. 2000).

La producción de café juega un papel importante y único en el caso de Colombia. A pesar de que la producción comenzó más tardíamente que en los países vecinos, después de su primera exportación a mediados del siglo XIX, su producción creció rápidamente, llegando en un momento a ser el segundo exportador mundial del grano (Forero Álvarez 2010). La mayoría del café en Colombia es cultivado por pequeños productores en la zona andina tropical que atraviesa el país de norte a sur. Esta zona contribuye al estatus de Colombia como un país megadiverso (Perfecto et al. 2005). Es importante conocer los efectos de la producción de café sobre la biodiversidad, los medios de vida de la familia productora y la provisión de servicios ecosistémicos de la zona andina tropical.

Las regiones cafetaleras de Colombia son mayormente habitadas por pequeños productores quienes generalmente utilizan métodos tradicionales de cultivo del café bajo el dosel de árboles de bosques, o de árboles plantados de especies como *Inga* spp., *Erythrina* spp., *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* y otros (Ospina y Marín 2007). El café cultivado tradicionalmente bajo sombra, dependiendo de la tipología usada por el productor, así como la región o el país, puede favorecer la biodiversidad y permitir mayores ingresos para el agricultor a través de la certificación (Perfecto et al. 1996, Somarriba et al. 2004). Las decisiones sobre el manejo de la finca regularmente son basadas en políticas endosadas por la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), la organización cooperativa que apoya la producción, transporte, y exportación de café en nombre de sus miembros agricultores (Café de Colombia 2010). Aunque la tendencia reciente de la política de la FNC se ha enfocado en el incremento de rendimientos a través de una producción más tecnificada, existe la oportunidad de implementar políticas mutuamente beneficiosas para los agricultores y para la conservación del ambiente, gracias al sistema centralizado de la Federación y la prevalencia de pequeñas fincas tradicionales de café. Este capítulo examina cómo las dinámicas económicas y sociales de la producción de café influyen el nivel de tecnología utilizado en el manejo de la plantación y en consecuencia afectan su capacidad para conservar biodiversidad, proveer servicios ecosistémicos y contribuir a los medios de vida de las familias productoras.



1. SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ

Los sistemas de producción agroforestales de café han ganado mucha atención recientemente por sus efectos potenciales sobre la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos. Varios estudios han demostrado la capacidad del café producido bajo sombra para conservar y, a veces, aumentar niveles de biodiversidad, normalmente enfocados en poblaciones de aves y artrópodos (Philpott 2007, Romanoff 2010, Sánchez-Clavijo 2008). Ha sido demostrado que el uso de técnicas de producción con impactos menores tiene el potencial para beneficiar tanto a los agricultores como al ecosistema (Soto-Pinto 2000). Más allá de la biodiversidad, la transformación de fincas tradicionales a sistemas de monocultivos y el nivel de manejo intensivo asociado tienen efectos significativos sobre factores ecológicos tales como el rendimiento, la calidad del suelo, la protección de cuencas, y la captura de carbono.

1.1 Botánica del café

En Colombia, la producción de café es más viable en altitudes entre 1.200 y 1.800 msnm, correlacionado con un promedio de precipitaciones entre 2.500 y 1.500 mm/año respectivamente (Guhl 2008). *Coffea arabica* y *C. canefora*, o “robusta,” son las dos variedades de café producidas comercialmente a nivel mundial. Colombia produce exclusivamente *C. arabica*. Esto es significativo ya que *C. arabica* tiene un mayor potencial para contribuir a la conservación de la biodiversidad que *C. canefora* por su preferencia de crecimiento en altura y condiciones más húmedas, que permite mayores oportunidades para ambientes de sombra. El cultivo de café arábica bajo sombra en los Andes colombianos es un aspecto importante que contribuye a mantener la rica biodiversidad de la región (Forero Álvarez 2010).

1.2 Técnicas agroforestales para la producción de café

El café es producido bajo una serie de técnicas que van desde fincas rústicas y tradicionales, donde se planta café bajo sombra, al otro extremo de producción bajo pleno sol. Toledo y Moguel (2012) examinan cinco niveles de estratificación de los sistemas de producción de café que se encuentran típicamente en los países productores, como México y Colombia. Sistemas “rústicos tradicionales” están formados por plantas de café que se incorporan al bosque nativo existente mediante la introducción en la vegetación del sotobosque, manteniendo un nivel de sombra entre 71-100%. Este sistema es de baja intensidad de manejo y asemeja el modo original de crecimiento de *C. arabica* en el medio silvestre. La producción de café en los sistemas “rústico tradicionales” tiene un efecto mínimo sobre el ecosistema forestal e incluso ha demostrado aumentar la biodiversidad en ciertos casos.

El sistema "policultivo tradicional" con 41-70% de sombra, implica una mayor intensidad de manejo de plantas del sotobosque, dejando el dosel forestal original intacto. Las plantas de café se introducen junto con otras plantas beneficiosas del sotobosque, lo que resulta en un “jardín o huerto de café.” Los jardines o huertos incluyen especies de plantas utilizadas con fines de subsistencia o actividades económicas, selectivamente introducidas por los productores. Los sistemas de “policultivo comercial” representan el punto de diferenciación entre el aprovechamiento de la cobertura forestal existente y la alteración completa de la vegetación original para la producción de café. En este método se corta el bosque original para introducir especies de árboles de sombra elegidos por su valor secundario,

creando sombra de 31-40%. El café se cultiva junto a las nuevas plantaciones forestales, muchas veces formadas por varias especies de árboles leguminosos para la fijación de nitrógeno.

Los "monocultivos de sombra" y "café bajo sol" son los métodos más modernos y tecnificados de producción que mantienen el 10-30% y 0% de sombra, respectivamente. En el monocultivo de sombra una sola especie de árbol se utiliza para dar sombra mínima. El café bajo sol representa un monocultivo de arbustos de café al descubierto. Estos sistemas permiten una mayor densidad de plantas y mayores rendimientos en menos tiempo. También requieren de insumos agroquímicos, uso de maquinaria extenso, y gran cantidad de mano de obra.

1.3 Efecto de la sombra sobre el rendimiento y calidad del grano

Mientras el aumento de nivel de sombra generalmente resulta en un rendimiento menor, comparado con el café expuesto al sol, la cobertura de sombra ha demostrado tener efectos físicos, tanto positivos como negativos, sobre la calidad del grano de café. Un factor importante a considerar en términos de rendimiento es el mayor costo de los insumos agroquímicos asociados con las plantaciones a pleno sol, lo cual puede ser compensado por el aumento de los ingresos debido a los mayores rendimientos. Plantaciones manejadas más intensivamente bajo pleno sol también requieren un mayor nivel de mano de obra, exigiendo a los agricultores renunciar a otras actividades económicas o contratar a trabajadores agrícolas (Perfecto et al. 2005).

Cuando el café se cultiva en altitudes más bajas la protección brindada por la sombra de los árboles puede compensar las condiciones no óptimas de temperaturas altas y condiciones de humedad más elevadas prevalentes en esas zonas. La sombra provee un período de maduración más largo, y reduce el estrés térmico en la planta, lo que resulta en granos más grandes y saludables (Bosselmann et al. 2009). Se ha demostrado que la sombra, en combinación con los parámetros de altitud óptimos, aumenta la calidad del sabor del grano de café (Davidson 2005).

2. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL CAFÉ BAJO SOMBRA

Varios beneficios ecológicos han sido evaluados al comparar la producción menos intensiva de café bajo sombra con plantaciones de pleno sol. La cantidad más alta de especies de árboles localizados en las parcelas de café con sombra resultan en una mayor protección de las cuencas y la prevención de la escorrentía superficial del suelo. Otros servicios ecológicos incluyen una mayor tasa de fijación de carbono y la conservación de la calidad del agua y la fertilidad del suelo (Toledo y Moguel 2012).

2.1 Bienes y servicios

La selección de las especies de sombra puede tener un efecto beneficioso sobre la ecología de la finca de café en general. En los policultivos de café, las especies de sombra son seleccionadas por su capacidad de fijar nitrógeno, mejorar la calidad del suelo, la producción de fruta, y por su uso como árboles maderables en tiempos de necesidad económica. Los árboles más utilizados en Colombia incluyen *Inga* spp., *Erythrina* spp., *Cordia alliodora*, cítricos, plátano, e higo. Los ingresos y beneficios adicionales de estos árboles tienen la capacidad de compensar pérdidas de rendimiento, o caídas de precios en comparación con plantaciones de sol que no aportan esta oportunidad.

El uso de sombra también aumenta la longevidad de las plantaciones de café, al reducir la necesidad de operaciones de restauración frecuentes y el uso de insumos agroquímicos con un costo alto al productor (Somarriba et al. 2004). Soto-Pinto (2000) encontró que sistemas de producción menos intensivos de café resultan en una mayor capacidad de intercambio catiónico, lo que aumenta la fertilidad del suelo. La eliminación de sombra en plantaciones a pleno sol permite mayores niveles de radiación, aumenta la temperatura del suelo y tiene efectos negativos sobre la disponibilidad de agua y sobre los microorganismos.

2.2 Captura de carbono

Los sistemas agroforestales de café han sido reconocidos recientemente como estrategias viables para la captura y acumulación de carbono en los trópicos. Las estimaciones del potencial de almacenamiento de carbono en las plantaciones de café tradicionales bajo sombra van desde 46,7 hasta 236,7 toneladas de carbono (tC) por hectárea (ha; Dejong et al. 1995, Davidson 2005).

Los policultivos de café almacenan grandes cantidades de carbono en la biomasa por encima del suelo y bajo el suelo. Incluso en plantaciones más intensivas con sólo especies de sombra de *Inga*, los beneficios de la captura de carbono son altos (Soto-Pinto et al. 2009). Andrade et al. (2013) encontraron que en fincas de café en Tolima, Colombia, el mayor almacenamiento de carbono se presenta en los árboles del dosel de sombra (4,6 y 1,6 t C ha⁻¹ año⁻¹ para *Cordia alliodora* y *Heavea brasiliensis*, respectivamente) que en los arbustos de café (0,6 t C ha⁻¹ año⁻¹). También se observó que un nivel ideal de sombra para una mayor tasa de fijación de carbono era de 33%. Ha sido demostrado también que ese nivel de sombra es óptimo para mantener buen rendimiento de café.

2.3 Adaptación al cambio climático

El manejo de la finca ha tomado cada vez más importancia para la producción de café de calidad, en respuesta al aumento de temperaturas debido al cambio climático en las regiones productoras de Colombia. Durante la última década, la temperatura ha aumentado en promedio 0,5°C y, en algunas regiones, hasta 1°C. Las condiciones más cálidas combinadas con temporadas más húmedas han tenido efectos dramáticos sobre las plantas de *C. arabica* más vulnerables al cambio climático y predominantes en la producción de Colombia. Los arbustos de café están adaptados a condiciones climáticas muy específicas, por lo que con un leve aumento en los niveles de temperatura y/o humedad se vuelven más susceptibles a enfermedades como la roya (*Hemilea vastatrix*; Rosenthal 2011).

Estudios de campo en SAF de café para hacer frente a los cambios climáticos, realizados en Chiapas y en Veracruz, México, destacan que los eventos climáticos extremos, como sequías, inundaciones, heladas y olas de calor, afectan la producción de café (Soto-Pinto et al. 2000). Las sequías/olas de calor en verano disminuyen la calidad de la producción y la producción total. El cambio climático aumenta la frecuencia y severidad de estos eventos. En los SAF de café con sombra, las fluctuaciones de temperatura, humedad y radiación solar se reducen considerablemente a medida que aumenta la densidad de la sombra, lo que permite acercarse a las condiciones ideales de crecimiento. La reducción de la variabilidad del microclima en los sistemas de café con sombra sugiere que los árboles de sombra pueden proteger a las plantas de café de la variabilidad del microclima. La temperatura óptima media anual del café arábigo es de 18-21°C. La reducción de las fluctuaciones en la temperatura ayudará a que el café permanezca a la temperatura óptima. La reducción de la humedad durante el día también es de utilidad, ya que genera menor pérdida de agua por evapotranspiración del sistema.

2.4 Biodiversidad

Los sistemas agroforestales también tienen efecto pronunciado sobre la diversidad de especies de animales y plantas del bosque. Los arbustos de café no pueden tolerar heladas y así son limitados a las zonas tropicales. Como resultado, muchas regiones de cultivo de café caen dentro de las áreas identificadas como sitios megadiversos. A pesar de la proporción relativamente pequeña de tierra dedicada a la producción de café en el mundo, ésta tiene un impacto relevante en la biodiversidad que no coincide con su escala (Myers et al. 2000).

Los cafetales tradicionales bajo sombra crean hábitats manejados que a menudo son menospreciados por su alto potencial para la conservación de la biodiversidad. La producción de café de menor impacto tiene una relación beneficiosa con la riqueza de especies y la diversidad de polinizadores, componente crucial para la conservación de la diversidad de especies vegetales en los ecosistemas tropicales. Estudios recientes han comenzado a ilustrar los impactos negativos de la transformación de las formas de bajo impacto a los monocultivos de café bajo sol, sobre la biodiversidad (Perfecto et al. 1996, Perfecto 2007, Moguel y Toledo 2012).

Mucho énfasis se ha puesto en la diversidad y cantidad de especies de aves afectadas por la producción de café. Los doseles de bosque que han permanecido intactos a través de las prácticas tradicionales de producción de café bajo sombra albergan un gran número de especies de aves migratorias. Por el contrario, en las fincas de café sin sombra se ha encontrado alrededor de la mitad de diversidad de aves. Sánchez-Clavijo et al. (2008) observaron que, en un estudio de tres de las regiones cafetaleras importantes de Colombia, entre 62 y 106 especies de aves utilizan las fincas de café de sombra como hábitat. El estudio encontró niveles más bajos de diversidad de aves en la vegetación secundaria en las mismas regiones, en las cuales se encontraban entre 23 y 75 especies. Aunque los autores esperaban una menor variación en la diversidad en hábitats con alteraciones antropogénicas en comparación con áreas naturales, las parcelas de café de sombra mostraron niveles bajos de similitud de especies de aves en relación con los fragmentos de vegetación natural.

Mas y Dietsch (2004) hallaron similarmente que prácticas de manejo menos intensivas en los cafetales, como la que se practica en los policultivos de café, permiten mantener un dosel más diverso, siendo compatibles con niveles de biodiversidad más altos asociados a los bosques. Mas y Dietsch (2004) proponen el reconocimiento de las fincas cafetaleras como hábitats para especies de aves, lo cual es reflejado en la proliferación de las normas de certificación enfocadas en cobertura de sombra sobre fincas de café.

Además de las aves, muchas otras especies de animales son igualmente afectadas negativamente por las cantidades crecientes de agroquímicos utilizados en las plantaciones de café bajo sol, así como por las fluctuaciones dramáticas de temperatura y humedad. Se ha demostrado que la diversidad de artrópodos y mamíferos en parcelas de café con sombra es similar, y en algunos casos mayor, a la que se encuentra en bosque no perturbado. Perfecto et al. (2007) ilustran este punto con una revisión de 21 estudios que evaluaron la diversidad de hormigas en cafetales a pleno sol y bajo sombra. Resultaron 18 casos que muestran una disminución significativa de la riqueza de especies a pleno sol, en comparación con la diversidad en jardines o huertos tradicionales de café bajo sombra. Además, la diversidad de artrópodos polinizadores como las abejas ha sido correlacionada con un aumento en los rendimientos, peso de grano, y calidad del café.

En menor medida, la diversidad de anfibios y reptiles es igualmente mayor en las parcelas de café de sombra que en cafetales al sol, probablemente debido a la sensibilidad de estos grupos de animales a los pesticidas y herbicidas. Esta diversidad es alterada significativamente cuando las granjas de café bajo sombra son transformadas en monocultivos de café a pleno sol (Perfecto et al. 2007).

Con respecto a la diversidad de plantas en sistemas de cultivo de café, Rossi et al. (2011) describen el efecto del nivel de manejo sobre la biodiversidad y la capacidad productiva, en un estudio realizado en el campo experimental del CATIE en Costa Rica. Se compararon varios niveles de manejo con insumos químicos y orgánicos, en relación con su efecto sobre la biodiversidad de plantas y la productividad del café. La diversidad herbácea fue menor en sistemas con insumos químicos, comparada con parcelas donde se utilizaban métodos orgánicos, independientemente del uso de sombra. Al mismo tiempo, el rendimiento de los sistemas con manejo orgánico de mediana intensidad con sombra fue similar a los de insumos químicos, representando un manejo balanceado entre la producción de café y la biodiversidad, sin necesidad de agroquímicos (Virginio Filho et al. este volumen).

3. CULTIVO DE CAFÉ EN COLOMBIA

La planta del café se introdujo en Colombia a mediados de 1700, con el primer registro de la producción comercial en 1835. Desde entonces, la producción de café ha crecido constantemente y ha llegado a representar una parte importante de la identidad nacional del país (Bentley y Baker 2000). La escala de la producción de café en Colombia es crucial para el bienestar de miles de familias que dependen de ella económicamente y la ecología de los paisajes que ocupa. Debido a la prevalencia de los paisajes de café en el país, los métodos de producción tienen un impacto significativo sobre la biodiversidad vegetal y animal.

El comercio del café en Colombia proporciona más de 600.000 puestos de trabajo, empleando un 22% de los trabajadores agrícolas en Colombia, representando el 12% de la población trabajadora. El producto suele representar entre el 40-70% de las exportaciones totales, y en cuanto al valor anual, el 29% de los productos agrícolas y el 9% de las exportaciones totales, que corresponden a aproximadamente 10 millones de sacos de 60 kilos de café verde al año (Guhl 2008). Colombia fue durante mucho tiempo el segundo mayor exportador de café después de Brasil hasta 2004, cuando Vietnam aumentó la producción a 15 millones de sacos (Forero Álvarez 2010). El uso de sombra en cafetales es alto en Colombia, comparado con otros países productores, estimado de ser alrededor de 60% (Somarriba et al. 2012).

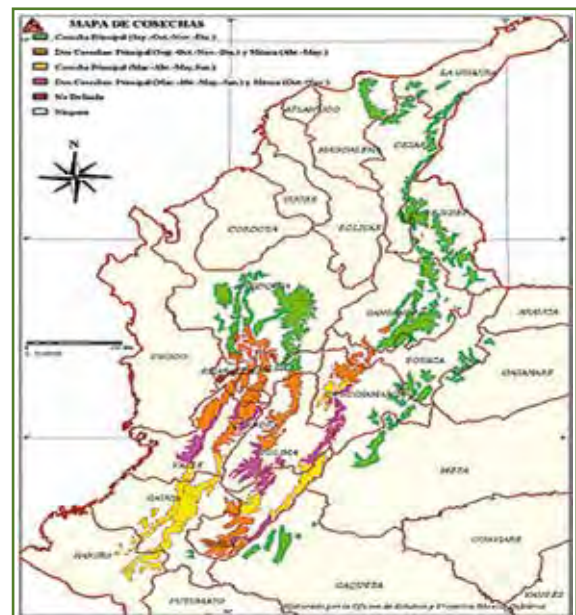


Figura 1. Eje cafetero de Colombia. Fuente: Café de Colombia, 2010.

Una gran porción de la producción de café en Colombia se lleva a cabo en el valle fértil del río Cauca, la división de la Cordillera Occidental y la Cordillera Central de la porción andina del país, una región conocida como el Eje Cafetero, que incluye los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda (Figura 1; Café de Colombia 2010). El cultivo se extiende más allá del valle en 19 de los 32 departamentos de Colombia, donde la producción está dominada por familias de agricultores, que representan el 55% de la cosecha total.

La mayor parte del café de Colombia se produce en pequeñas fincas, con un 95% de las plantaciones de café siendo menor a 5 hectáreas, con una predominancia de métodos tradicionales para producción de café bajo sombra. Alrededor del 50% de estos productores cultivan café en menos de una hectárea. Desde 1970, el número de fincas de café se ha duplicado, pasando de 300.000 a 609.432. Mientras tanto, la superficie total plantada de café disminuyó un 18,6%, aumentando la participación de las pequeñas explotaciones agrícolas del 31 a 61% (Guhl 2008). La tendencia de países productores en América del Sur ha sido de incrementar el rendimiento mientras el área de cultivo disminuye. Esto es también el caso en Colombia, aunque después del 2009 condiciones climáticas y lluvias fuertes han resultado en una caída grave de la producción de café en Colombia (Cuadro 1). Esta progresión aumentó el riesgo de las fincas de café a cambios y eventos extremos del clima. Aunque el rendimiento de café subió más de 300 kg ha⁻¹ en Colombia dentro de los años 2005 a 2009, mientras el área de cultivo bajó casi 40.000 hectáreas, lluvias fuertes en los años 2010 y 2011 resultaron en la pérdida de gran cantidad de la producción intensificada.

Cuadro 1. Estadísticas de producción en los diez países de mayor producción mundial de café, 2005-2011. Fuente: FAO 2012.

País		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Brasil	Área de cultivo (Ha)	2.325.920	2.312.160	2.264.130	2.222.220	2.135.510	2.159.790	2.148.780
	Rendimiento (Kg/Ha)	920	1.113	993	1.258	1.142	1.346	1.256
Vietnam	Área de cultivo (Ha)	483.600	483.200	488.900	500.200	507.200	511.900	533.800
	Rendimiento (Kg/Ha)	1.178	2.039	2.558	2.110	2.085	2.160	2.187
Indonesia	Área de cultivo (Ha)	1.255.270	1.308.730	1.259.910	1.250.110	1.266.240	1.268.480	1.293.000
	Rendimiento (Kg/Ha)	510	521	522	539	539	539	490
Colombia	Área de cultivo (Ha)	806.884	785.535	797.660	732.656	768.000	750.224	739.413
	Rendimiento (Kg/Ha)	826	922	949	940	1.155	685	633
Etiopía	Área de cultivo (Ha)	261.175	295.234	295.238	407.147	391.296	395.003	498.618
	Rendimiento (Kg/Ha)	657	817	1.103	671	665	672	743
Perú	Área de cultivo (Ha)	301.534	321.449	324.062	333.388	342.621	349.633	367.096
	Rendimiento (Kg/Ha)	625	849	697	821	710	756	854
India	Área de cultivo (Ha)	333.338	341.351	343.040	344.508	350.500	355.502	360.485
	Rendimiento (Kg/Ha)	826	802	839	760	748	814	837
Honduras	Área de cultivo (Ha)	238.455	250.012	239.000	242.000	242.683	270.294	264.898
	Rendimiento (Kg/Ha)	799	854	988	995	953	848	1.065
Guatemala	Área de cultivo (Ha)	247.756	247.756	248.533	249.775	251.024	248.807	249.916
	Rendimiento (Kg/Ha)	1.002	947	980	994	993	994	971
México	Área de cultivo (Ha)	762.261	763.418	772.036	766.984	765.697	741.410	688.208
	Rendimiento (Kg/Ha)	386	366	347	339	345	330	344

3.1 Política del cultivo de café en Colombia: *La Federación Nacional de Cafeteros*

La Federación Nacional de Cafeteros (FNC) en Colombia es una organización de producción cafetera única en los países latinoamericanos, debido a que representa un cuerpo centralizado de gobierno muy fuerte. La FNC incorpora cientos de miles de productores de café en Colombia y proporciona una oportunidad única para la aplicación a gran escala de las políticas y métodos relativos al cultivo del café (Café de Colombia 2010).

La FNC fue fundada en 1927, mayormente por los grandes productores cafetaleros de la región del Eje Cafetero. Debido a una fuerte dominación de los mercados globales de café por parte de empresas extranjeras, los fundadores de la Federación incorporaron productores campesinos para aumentar su escala y fortalecer su influencia en la exportación de café de Colombia. Uno de los mayores éxitos de la FNC, en comparación con instituciones productoras similares en otros países, ha sido la inclusión de muchos pequeños agricultores que normalmente no participan en este tipo de organización. Es una institución única, en la medida en que ha gestionado con éxito reunir grandes y pequeños agricultores bajo una misma organización, y ha generado beneficios positivos para sus miembros (Reina et al. 2007). Hoy la Federación funciona como una institución democrática, integrada por representantes elegidos de las regiones productoras constituyentes. Los comités municipales, 371 en total, eligen 15 comités departamentales que envían delegados a un congreso nacional de café. El cuerpo del congreso es el encargado de dar forma a las políticas que afectan la producción interna, así como la gestión de las relaciones extranjeras para exportación (Bentley y Baker 2000).

A través de su rama de investigación de Cenicafé, la Federación fue pionera en el desarrollo de variedades híbridas de café tolerantes a la exposición solar y resistentes a la plaga de roya. La lógica detrás de las nuevas variedades fue que la mezcla genética con variedades resistentes, combinada con la humedad reducida a través de exposición solar completa, y un ciclo de crecimiento más rápido, podrá inhibir la proliferación de la roya y al mismo tiempo elevar la productividad de las plantas. El efecto genético ha sido una estrategia exitosa para combatir la roya. El proceso de renovación de cafetales con las variedades resistentes presenta dificultades para productores pequeños. Reemplazar plantaciones de café requiere una inversión de capital y trabajo, mientras la producción se demora dos a tres años. Para los productores que no han podido renovar sus cafetales con variedades resistentes, la evidencia del efecto de la sombra sobre plagas como roya en plantaciones de café es contradictoria. Mientras el aumento de humedad y baja exposición solar sí favorece la proliferación de la roya, la alta productividad de plantas de café bajo exposición solar también ha sido un factor en el desarrollo de la plaga (Rapidel et al. este volumen).

La implementación de nuevas políticas orientadas hacia el aumento del rendimiento ha llevado a un cambio significativo en el uso de la tierra en las regiones cafeteras de Colombia. Muchas granjas pequeñas y grandes han sido transformadas en plantaciones de pleno sol, bajo la dirección de la FNC, siendo Colombia el país que presenta una de las tasas más altas de transformación de sistemas de cultivo de café bajo sombra a sistemas a pleno sol en América Latina. Entre 1990 y 1997 la superficie total plantada de café disminuyó en un 18,5%, mientras que la producción se duplicó (Guhl 2008). El alto rendimiento representa la pérdida de las plantaciones de café de sombra, transformadas a parcelas de café a pleno sol, o utilizadas para otras actividades agrícolas. Con el cambio en las prácticas de manejo y la eliminación de los árboles de sombra, cantidades significativas de hábitat y de servicios ecosistémicos se han perdido también.

4. DISCUSIÓN

La transformación de cafetales en América Latina, desde la producción bajo sombra a cafetales de sol, se ha incrementado desde que empezó hace más de diez años (Perfecto 1996, Guhl 2008). Esto ha dado lugar a una pérdida significativa de hábitat para la biodiversidad en la región, y causado efectos perjudiciales sobre la ecología de las fincas cafetaleras. Las plantaciones de sol son más propensas a pérdidas y requieren niveles más altos de mano de obra e insumos agroquímicos, lo que pone en peligro la sostenibilidad a largo plazo de las fincas.

La conversión a plantaciones de café a pleno sol ha sido aprobada por la Federación por sus mayores rendimientos en menor tiempo. Cuando se toman en cuenta los efectos sobre los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, el valor del ingreso agregado, asociado con un mayor rendimiento, disminuye significativamente. Las externalidades de la economía del café son representativas, especialmente cuando se trata del medio ambiente. Los países productores de café de larga data, como Colombia, están empezando a considerar estos factores en el diseño de sus políticas para orientar la producción.

El objetivo declarado de la Federación en Colombia es "asegurar el bienestar del caficultor colombiano." La Federación ha jugado un papel crucial en el aumento de los rendimientos para sus miembros durante las últimas décadas. Con el fin de asegurar el bienestar de los productores de café, las preocupaciones ambientales asociadas con el cultivo de un producto que sostiene un número tan alto de productores pequeños, deben ser consideradas seriamente para futuras decisiones políticas.

CONCLUSIONES

Dada la escala de la producción en Colombia, el comercio del café tiene consecuencias importantes para la biodiversidad, la ecología de las fincas, y el bienestar del productor. El hecho de que las regiones de Colombia que exportan café muestran una mayor calidad de los estándares de vida, en comparación con aquellas zonas que no producen café, y que allí existe además una capacidad y oportunidad para la conservación de la biodiversidad, genera una dinámica potencial de prácticas agrícolas mutuamente beneficiosas. Con la ventaja de un cuerpo gobernante fuerte, la Federación Nacional de Cafeteros, Colombia ha tenido grandes avances en la obtención de beneficios económicos para los agricultores, y está empezando a abordar los aspectos ambientales de mayor escala de su producción cafetera. Mientras que la tendencia en los últimos años se ha enfocado en aumentar los rendimientos y los ingresos, el aumento de los consumidores y de los mercados diferenciados ambientalmente conscientes abre la posibilidad de acoplar un valor añadido a las prácticas sostenibles. El café colombiano representa un potencial único para una política nacional que incentive métodos eficientes y sostenibles de la producción agrícola a gran escala de un producto global.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, HJ; Marín, LM; Pachón, DP. 2013. Fijación de carbono en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Líbano, Tolima, Colombia. Revista Acta Agronómica (Colombia). En Revisión.
- Bentley, JW; Baker, PS. 2000. The Colombian Coffee Growers' Federation: Organised, Successful Smallholder Farmers for 70 Years. Agricultural Research and Extension Network. 19 p.
- Bosselmann, AS; Dons, K; Oberthur, T; Olsen, CS; Ræbild, A; Usma, H. 2009. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. Agriculture, Ecosystems and Environment 129(1-3):253-256.
- Café de Colombia. 2010. Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia (en línea). Disponible En: <http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/>
- Davidson, S. 2005. Shade Coffee Agro-Ecosystems in Mexico: A synopsis of the Environmental Services and Socio-Economic Considerations. Pp. 81-98 En: Montagnini, F. (Ed.). Environmental Services of Agroforestry Systems. Birmingham, NY, EE.UU., Haworth Press. 148 p.
- Dejong, BH; Montoya, G; Soto-Pinto, L; Nelson, K; Taylor, J; Tipper, R. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. Interciencia 20:504-511.
- Forero Álvarez, J. 2010. Colombian Family Farmers' Adaptations to New Conditions in the World Coffee Market. Latin American Perspectives 37(2):93-110.
- Guhl, A. 2008. Café y cambio de paisaje en Colombia, 1970-2005. Medellín, Colombia, Fondo Editorial Universidad EAFIT. 334 p.
- Mas, AH; Dietsch, TV. 2004. Linking shade coffee certification to biodiversity conservation: Butterflies and birds in Chiapas, Mexico. Ecological Applications 14:642-654.
- Myers, N; Mittermeier, RA; Mittermeier, CG; da Fonseca, GAB; Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403:853-858.
- Perfecto, I; Rice, RA; Greenberg, R; Van der Voort, ME. 1996. Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. BioScience 46(8):598-608.
- Perfecto, I; Vandermeer, J; Mas, A; Pinto, LS. 2005. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. Ecological Economics 54(4):435-446.
- Perfecto, I; Armbrecht, I; Philpott, SM; Soto-pinto, L; Dietsch, TV. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. Pp. 225-261 En: Tscharntke, T; Leuschner, C; Zeller, M; Guhardja, E; Bidin, A. (Eds.). The stability of tropical rainforest margins, linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation. Berlin, Alemania, Springer Verlag. 516 p.
- Philpott, SM; Bichier, P; Rice, R; Greenberg, R. 2007. Field-testing ecological and economic benefits of coffee certification programs. Conservation Biology 21(4):975-985.
- Reina, M; Silva, G; Samper, LF; Fernández, MP. 2007. Juan Valdez: La estrategia detrás de la marca. Bogotá, Colombia, Ediciones B Colombia S.A.

- Romanoff, S. 2010. Shade Coffee in Biological Corridors: Potential Results at the Landscape Level in El Salvador. *Culture and Agriculture* 32(1):27-41.
- Rosenthal, E. 2011. Heat Damages Colombia Coffee, Raising Prices (en línea). The New York Times. Disponible En: <http://www.nytimes.com/2011/03/10/science/earth/10coffee.html?pagewanted=all>
- Rossi, E; Montagnini, F; Melo Virginio Filho, E. 2011. Effects of Management Practices on Coffee Productivity and Herbaceous Species Diversity in Agroforestry Systems in Costa Rica. Pp. 115-132 En: Montagnini, F; Francesconi, W; Rossi, E. (Eds.). *Agroforestry as a tool for landscape restoration*. New York, EE.UU., Nova Science Publishers. 201 p.
- Sánchez-Clavijo, LM; Botero, JE; Espinosa, R. 2008. Assessing the value of shade coffee for bird conservation in the Colombian Andes at a local, regional, and national level. *Actas, Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics*. [McAllen, Texas, EE.UU., 13-16 feb. 2008]. p. 148-157.
- Simpson, BB; Conner-Ogorzaly, M. 2001. *Economic botany, plants in our world*. New York, EE.UU., McGraw-Hill. 544 p.
- Somarriba, E; Harvey, CA; Samper, M; Anthony, F; González, J; Staver, C; Rice, RA. 2004. Biodiversity Conservation in Neotropical Coffee (*Coffea arabica*) Plantations. En: Schroth, G. (Ed.). *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Washington DC, EE.UU., Island Press. 523 p.
- Somarriba, E; Beer, J; Alegre Orihuela, J; Andrade, H; Cerda, R; Declerck, F; Detlefsen, G; Escalante, M; Giraldo, LA; Ibrahim, M; Krishnamurthy, L; Mena, V; Mora-Delgado, J; Orozco, L; Scheelje, M; Campos, JJ. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. Pp. 429-453 En: Nair, PKR; Garrity, DP. (Eds.). *Agroforestry: The Future of Global Land Use*. New York, EE.UU., Springer. 531 p.
- Soto-Pinto, L; Perfecto, I; Castillo-Hernandez, J; Caballero-Nieto, J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 80(1-2):61-69.
- Soto-Pinto, L; Anzueto, M; Mendoza, J; Ferrer, GJ; Jong, B. 2009. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 78(1):39-51.
- Toledo, VM; Moguel, P. 2012. Coffee and Sustainability: The Multiple Values of Traditional Shaded Coffee. *Journal of Sustainable Agriculture* 36(3):353-377.
- Virginio Filho, E; Casanoves, F; Hagggar, J; Staver, C; Soto, G; Avelino, J; Tapia, A; Merlo, M; Salgado, J; Noponen, M; Perdomo, Y; Vásquez, A. La productividad útil, la materia orgánica y el suelo en los primeros 10 años de edad en sistemas de producción de café a pleno sol y bajo varios tipos de sombra y niveles de insumos orgánicos y convencionales en Costa Rica. Este volumen.



362

SAF de yerba mate y árboles maderables, en zona de amortiguamiento del Parque Nacional Iguazú, en Misiones, Argentina. Foto: F. Montagnini.

Capítulo 17

LOS SAF COMO ESTRATEGIA PARA FAVORECER LA CONECTIVIDAD FUNCIONAL DEL PAISAJE FRAGMENTADO

Wendy Francesconi¹ y Florencia Montagnini²

¹ National Soil Erosion Research Laboratory, 275 S Russell Street, West Lafayette, IN 47907,
Dirección actual: DAPA-Ecosystem Services, International Center for Tropical Agriculture (CIAT),
Av. La Molina 1581, La Molina, Lima, Perú,

Correo electrónico: w.francesconi@cgiar.org; wendy.francesconi@hotmail.com

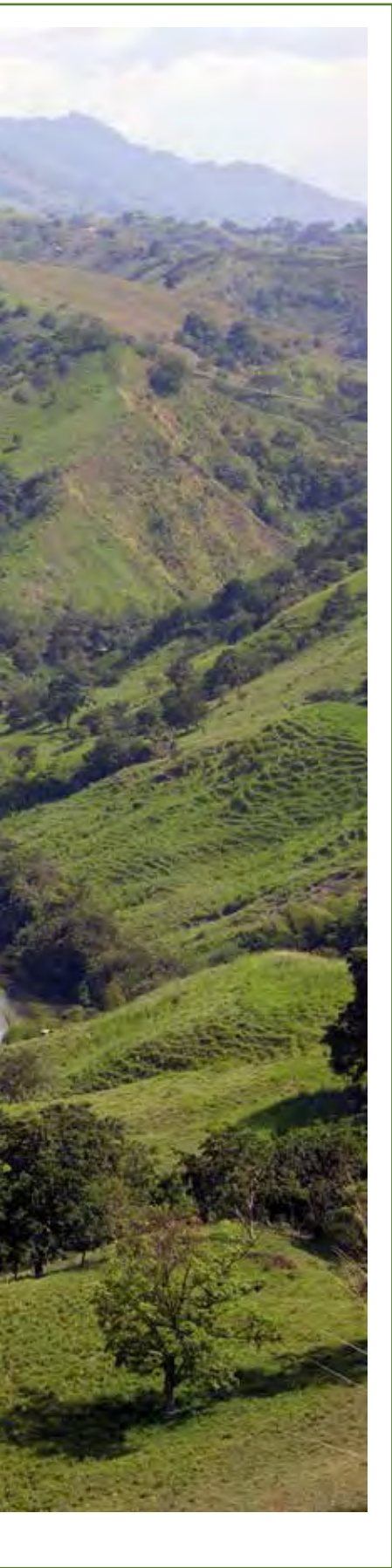
² Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios Ambientales,
195 Prospect St., New Haven, CT 06511, EE.UU.

RESUMEN

La conversión de los hábitats naturales en sistemas agrícolas resulta en la inevitable degradación del medio ambiente. Las iniciativas para la creación de áreas protegidas no son suficientes para la conservación de la biodiversidad cuando éstas se encuentran aisladas y fragmentadas a causa de las actividades humanas. Debido a la interdependencia de los sistemas naturales, los diferentes componentes en el paisaje agrícola actúan como fichas en un rompecabezas que favorecen o interrumpen los procesos ambientales y ecológicos. Este capítulo hace una revisión de la literatura que trata el tema de los Sistemas Agroforestales (SAF) como estrategias ecológicas (zonas de amortiguamiento, corredores, y trampolines ecológicos) para restaurar la conectividad funcional del paisaje y así favorecer la conservación de especies de vida silvestre en Latinoamérica.

En total se hallaron 286 publicaciones sobre el tema, de las cuales la mayoría (80%) presenta a los SAF como posibles corredores ecológicos. Entre los estudios hechos en Latinoamérica (16%), analizamos las publicaciones que presentan datos de movimiento de organismos usando a los SAF en su traslado a otros componentes del paisaje (2%). Aunque muchos autores han confirmado la presencia de numerosas especies de vida silvestre en los SAF, y por ende han sugerido que éstos contribuyen a su desplazamiento, concluimos que es necesario un mayor número de estudios experimentales que confirmen esta función directamente. Los resultados indican que los SAF más comúnmente estudiados por sus posibles contribuciones para incrementar la conectividad del paisaje son los cultivos perennes bajo sombra (39%), las cercas vivas (39%), y los bosques ribereños (22%). Nuestro análisis sugiere que, independientemente del tipo de práctica agroforestal, la calidad y cobertura vegetal de los SAF puede servir como un indicador de su potencial como estrategia agroecológica para favorecer la conectividad del paisaje.





INTRODUCCIÓN

La conversión de hábitats naturales para la agricultura es un disturbio antropogénico que altera los procesos ecológicos, no sólo a nivel de parcela, sino también a nivel de paisaje. A medida que el paisaje natural es modificado, los fragmentos de hábitat natural se reducen y se aíslan (Fahrig 2003). Esta conversión amenaza la persistencia de especies nativas de plantas y animales en regiones agrícolas. La incorporación de los Sistemas Agroforestales (SAF) en el paisaje agrícola podría servir como estrategia para minimizar el impacto de la agricultura sobre los procesos ambientales y ecológicos (Jose 2012). La rehabilitación de los paisajes agrícolas a través de la siembra de árboles y otras especies perennes podría restablecer interacciones ecológicas y ciclos biogeoquímicos que se han perdido durante la deforestación y consecuente introducción de monocultivos.

Debido a la pérdida de especies a causa de la expansión de las prácticas agrícolas en paisajes tropicales (Kumaraswamy y Kunte 2012), existe actualmente un interés por los beneficios ecológicos de los SAF relacionados con la conservación de la biodiversidad (Schroth et al. 2004). El número de estudios enfocados en la investigación del efecto de los SAF sobre la conservación de especies ha aumentado significativamente en la última década. Ediciones especiales en revistas científicas como *Ecology* (abril 2008) o *Biodiversity and Conservation* (febrero 2006), han sido dedicadas a la comparación de los SAF con otros usos de la tierra para la conservación de especies. Además, revisiones de la literatura han sido publicadas compilando los resultados de estudios donde se evalúa la presencia de especies de diferentes grupos taxonómicos de plantas y animales en distintos tipos de SAF (Bhagwat et al. 2008, Dawson et al. 2013, De Beenhouwer et al. 2013, Palacios et al. 2013).

Este capítulo compila estudios que examinan a los SAF como estrategia para incrementar la conectividad funcional del paisaje fragmentado y facilitar el movimiento de especies de vida silvestre. Se plantea la hipótesis de que los SAF, caracterizados por su mayor similitud a las áreas naturales, son los que más favorecen el movimiento de especies de animales. Aplicando los conceptos de ecología de paisaje a las distintas prácticas agroforestales, este capítulo tiene como objetivo 1) hacer un resumen de la literatura que estudia los SAF como estrategias para favorecer la conectividad del paisaje en Latinoamérica, y 2) analizar estudios de caso donde los SAF son evaluados como zonas de amortiguamiento, corredores biológicos, y trampolines ecológicos. De esta manera se podría concluir qué tipos de SAF pueden ser más útiles para utilizarlos como estrategia para favorecer la conectividad del paisaje agrícola fragmentado en América Latina.

1. FUNCIONES POTENCIALES DE LOS SAF A NIVEL DE PAISAJE

1.1 Configuración y manipulación de elementos en el paisaje

El impacto de los SAF sobre la conservación de especies es un fenómeno que debe ser evaluado a nivel de paisaje. La ecología del paisaje como ciencia investiga la relación entre la heterogeneidad espacial y los procesos ecológicos (Turner 2005). Su aplicación evalúa cómo la composición y configuración de los elementos del paisaje (los distintos usos de la tierra) facilitan o impiden el movimiento de organismos (Hobbs 1993). El entendimiento de estos procesos ecológicos sugiere que es posible manipular la configuración de los elementos del paisaje para minimizar los efectos negativos de la agricultura. La aplicación de los principios de la ecología del paisaje y de la biología de la conservación en la agricultura podría ayudar a disminuir los efectos del aislamiento y la pérdida de hábitat, que ocurren como consecuencia de la expansión e intensificación de la frontera agrícola.

La teoría de la ecología del paisaje propone el uso de estructuras vegetativas como mecanismos para favorecer la conservación de especies de plantas y animales. El propósito de dichas estructuras está destinado a incrementar la conectividad funcional del paisaje (Wu 2013). Entre las estructuras sugeridas, las zonas de amortiguamiento, los corredores ecológicos (también llamados corredores biológicos), y los trampolines ecológicos, son los más comunes. Sin embargo, el concepto de conectividad es específico para las diferentes especies que se desea conservar (Tischendorf y Fahrig 2000). Las aves típicas de bosque como los trepatroncos, por ejemplo, tienden a tener alas pequeñas y redondeadas adaptadas para maniobrar y moverse en distancias cortas, por lo tanto necesitan paisajes con alta cobertura vegetal para poder desplazarse. En cambio, las aves que viven en espacios abiertos tienden a tener alas adaptadas para planear y movilizarse a distancias largas (Navarro y Benites 1995). Debido a la pérdida de hábitat natural, las especies de bosque se podrían beneficiar de paisajes agrícolas con alta densidad de árboles.

1.2 Estructuras vegetativas en el paisaje para favorecer la conservación

En este capítulo nos referimos a tres de las estructuras propuestas por la ecología del paisaje: zonas de amortiguamiento, corredores biológicos, y trampolines ecológicos. Las zonas de amortiguamiento se refieren a ecosistemas de borde, los cuales son áreas de transición (ecotonos) que forman un perímetro alrededor de las áreas de conservación. Las zonas de amortiguamiento minimizan los efectos del exterior (tales como actividades humanas, polución, o quemas; Bennett y Mulongoy 2006). Los corredores ecológicos son áreas que conectan fragmentos del mismo hábitat, y que difieren de la vegetación que los rodea (Forman 1995, Saunders et al. 1991). Los trampolines ecológicos son parches de menor tamaño y de similar vegetación al de los fragmentos que éstos conectan (Baum et al. 2004). Además de éstas, otras estructuras han sido sugeridas como estrategias para la conservación de especies en ecología del paisaje, pero las zonas de amortiguamiento y los corredores ecológicos son las más comunes y mejor definidas.

Aunque los trampolines ecológicos han sido menos estudiados, éstos pueden ser prácticos en los paisajes agrícolas. Considerando que la matriz productiva no permite el uso de corredores o de zonas de amortiguamiento entre las unidades naturales, los trampolines ecológicos representan una propuesta de islas de vegetación en el paisaje. Los trampolines ecológicos pueden aumentar el grado de percolación y de permeabilidad de la matriz beneficiando los flujos biológicos (Tres y Reis 2007). La idea de los trampolines ecológicos como pequeños ambientes naturales o establecidos (como plantaciones forestales), es de servir como refugios donde la fauna encuentre un lugar seguro

para descansar, alimentarse y/o reproducirse. Estos elementos funcionarían como puntos de ligación entre los fragmentos naturales dentro de la matriz agrícola (Tres y Reis 2007).

La introducción de estructuras vegetativas con fines ecológicos en el paisaje agrícola representa una pérdida pequeña del área productiva, pero su función puede ser muy importante para la conservación de especies. La presencia de estos elementos tiende a reducir la distancia efectiva de dispersión de las especies, favoreciendo la conectividad de los hábitats naturales del paisaje (Tres y Reis 2007). De este modo, las zonas de amortiguamiento, los corredores, y los trampolines ecológicos pueden aumentar la posibilidad de que algunas especies silvestres utilicen la matriz agrícola para desplazarse entre las unidades naturales en el paisaje.

La incorporación de SAF en el mosaico agrícola podría funcionar como estrategias vegetativas para facilitar el movimiento de organismos. Idealmente, las estructuras destinadas para la conservación de especies deberían tener una vegetación similar a las de los fragmentos naturales. Sin embargo, como el principal objetivo de los SAF es la producción de cultivos agrícolas, éstos no pueden contener la misma estructura y composición de especies vegetales de los hábitats naturales. El valor de los SAF como herramienta para restaurar la conectividad del paisaje fragmentado surge cuando éstos son comparados con los sistemas de monocultivo y pasturas sin árboles como alternativa agrícola (Schroth et al. 2004). La presencia de árboles en los SAF incrementa la cobertura vegetal del paisaje, y por eso se asume que facilita el movimiento de especies de áreas naturales. Sin embargo, hasta ahora son limitados los estudios que demuestran el movimiento de especies en los SAF para desplazarse entre fragmentos de hábitat natural.

2. LOS SAF Y LA ECOLOGÍA DEL PAISAJE

2.1 Estado actual de la literatura sobre SAF y la ecología del paisaje

La revisión de literatura realizada, arrojó un total de 286 publicaciones sobre las funciones de los SAF a nivel del paisaje (Cuadro 1). Entre éstas, 46 (16%) fueron de estudios hechos en Latinoamérica. La mayoría (80%) del total de publicaciones sobre SAF y conectividad del paisaje se refieren a su función como corredores ecológicos. Entre los estudios llevados a cabo en Latinoamérica, 18 (6%) reportan valores empíricos comparando la riqueza de especies de plantas o animales entre distintos usos de la tierra (Cuadro 2). Sin embargo, entre los estudios hechos en Latinoamérica, solamente 6 (2%) examinan el movimiento de organismos a través de los SAF para comprobar su uso como zonas de amortiguamiento, corredores, y trampolines ecológicos.

Cuadro 1. Cantidad de publicaciones sobre funciones de los SAF a nivel de paisaje, basada en revisión de la literatura en la base de datos ISI Web of Knowledge, la cual provee acceso a Web of Science, ISI Proceedings, BIOSIS Previews, MEDLINE, Web Citation Index, y Journal Citation Reports. Las palabras clave utilizadas incluyeron “Agroforestry”, “Buffer Zone”, “Corridor”, y “Stepping Stones”, y combinando “Agroforestry” con una de las otras tres.

Palabras clave	Total de publicaciones	Estudios en Latinoamérica	Estudios de comparación de abundancia entre sitios	Estudios de movimiento
SAF y Zonas de amortiguamiento	103	12	1	1
SAF y Corredores ecológicos	172	37	14	4
SAF y Trampolines ecológicos	11	8	3	1
Total	286	46	18	6

Cuadro 2. Lista de estudios que evalúan el uso de SAF como herramientas para incrementar la conectividad funcional del paisaje en América Latina.

Tipo de Conectividad de Paisaje	Sistema Agroforestal	Grupo Taxonómico	País	Referencia**
Zona de Amortiguamiento	Roza y quema	Mamíferos	Perú	Naughton-Treves et al. 2003
Zona de Amortiguamiento	Café con sombra	Tapir	México	Lira Torres et al. 2004
Zona de Amortiguamiento*	Café con sombra	Murciélagos	México	Williams-Guillén y Perfecto 2010**
Zona de Amortiguamiento*	Huertos familiares y sistemas agrosilvopastoriles	Aves	Costa Rica	Redondo-Brenes y Montagnini 2010
Zona de Amortiguamiento*	Café con sombra	Aves	Costa Rica	Hernández et al. 2013
Zona de Amortiguamiento*	Cacao con sombra	Arboles	Brasil	Sambuichi et al. 2012
Corredor Ecológico	Bosque ribereño	Aves y murciélagos	México	Galindo-González et al. 2000
Corredor Ecológico	Bosque ribereño y cerca viva	Murciélagos	México	Estrada y Coates-Estrada 2001**
Corredor Ecológico	Cerca viva	Aves	Brasil	Gabriel y Pizo 2005**
Corredor Ecológico	Café con sombra	Primates	Nicaragua	Williams-Guillén et al. 2006**
Corredor Ecológico	Café con sombra	Escarabajos	Perú	Horgan 2009
Corredor Ecológico	Bosque ribereño y cerca viva	Aves	Costa Rica	Gillies y St.Clair 2010**
Corredor Ecológico	Cerca viva	Aves	Costa Rica	Francesconi et al. 2011
Corredor Ecológico	Bosque ribereño/cerca viva	Mamíferos	Brasil	Rocha et al. 2011
Corredor Ecológico	Cerca viva/árboles en potreros	Hormigas	México	González-Valdivia et al. 2012
Trampolín Ecológico	Cerca viva	Aves	México	Estrada et al. 2000
Trampolín Ecológico y Corredores	Huertos familiares y bosques ribereños	Aves	Brasil	Uezu et al. 2008
Trampolín Ecológico	Huertos familiares y café con sombra	Mariposas	Brasil	Francesconi 2011**

*Estos estudios fueron listados bajo "SAF" y Corredor pero dada la distribución de las parcelas fueron reclasificados como zona de amortiguamiento.

**Artículos que presentan datos de movimiento de organismos en el paisaje agrícola usando SAF.

Los estudios que evalúan el uso de áreas naturales como zonas de amortiguamiento, corredores, y trampolines ecológicos, han demostrado que en la mayoría de los casos el uso de estos elementos beneficia el desplazamiento de especies de animales (Gilbert-Norton et al. 2010). Aunque existe confusión en la terminología adecuada para la evaluación de la conectividad del paisaje (Tischendorf y Fahrig 2000), el análisis de estudios experimentales con corredores ecológicos con vegetación natural realizado por Gilbert-Norton et al. (2010), muestra que éstos favorecen el movimiento de especies en casi un 50% de los casos. Otros estudios que utilizan modelos para la simulación de movimiento de animales silvestres también han comprobado la eficacia de estos elementos como herramientas para incrementar la conectividad funcional del paisaje (Adriaensen et al. 2003, Beier et al. 2009). A través del uso de metodologías de movimiento o tecnologías como la telemetría y los sistemas de información geográfica (SIG), el análisis de la dispersión de organismos en el paisaje contribuye a la evaluación de los conceptos en ecología del paisaje para el manejo de especies en áreas de uso humano.

Según la literatura, los conceptos en ecología del paisaje aplicados a las prácticas agroforestales tienden a ser más flexibles. Ya que los SAF no son áreas naturales y no pueden reemplazar los servicios de éstas, su uso como herramientas para la conectividad del paisaje tiene que analizarse desde un gradiente agrícola. Por ello, cuando los conceptos en ecología del paisaje son aplicados a los SAF, éstos son más ambiguos y pueden tener otros significados. Por ejemplo, algunos de los artículos que comparan la diversidad de especies entre distintos usos de la tierra fueron listados con las palabras claves “SAF y Corredores” (Redondo-Brenes y Montagnini 2010, Williams-Guillén y Perfecto 2010, Hernández et al. 2012, Sambuichi et al. 2012). Sin embargo, de acuerdo con la configuración de las parcelas en el paisaje, en algunos casos los SAF funcionaban como zonas de amortiguamiento, y no como corredores ecológicos (según el concepto de corredor anteriormente descrito). Ya sea porque los autores describen el uso de los SAF como corredores, o porque este término es utilizado en el artículo, no existe una clara definición de lo que significa un corredor, una zona de amortiguamiento, o un trampolín ecológico agroforestal para el desplazamiento de especies.

Por otra parte, algunos de los artículos listados utilizan el término “zona de amortiguamiento” para denominar áreas de filtración de agroquímicos en parcelas agrícolas, lo cual difiere del concepto de conectividad funcional en ecología del paisaje (Anbumozhi y Yamaji 2001, Lazzaro et al. 2008, Pankau et al. 2012). Más aún, el término “corredor ecológico” se utiliza comúnmente para definir regiones conformadas por múltiples usos de la tierra, donde hay un alto porcentaje de fragmentos de bosque no necesariamente contiguos, y por donde tienden a desplazarse los animales silvestres (Dahlquist et al. 2007, Redondo-Brenes y Montagnini 2010, González-Valdivia et al. 2013).

Aunque no parece haber consenso acerca de cómo definir y clasificar el uso de los SAF como estructuras para incrementar la conectividad del paisaje, no obstante éstos han sido sugeridos como estrategias para la conservación de especies naturales por más de dos décadas (Forman y Baudry 1984, Altieri y Delate 1992). Sin embargo, los esfuerzos en evaluar las contribuciones de los SAF para la conectividad funcional del paisaje son más recientes (Figura 1).

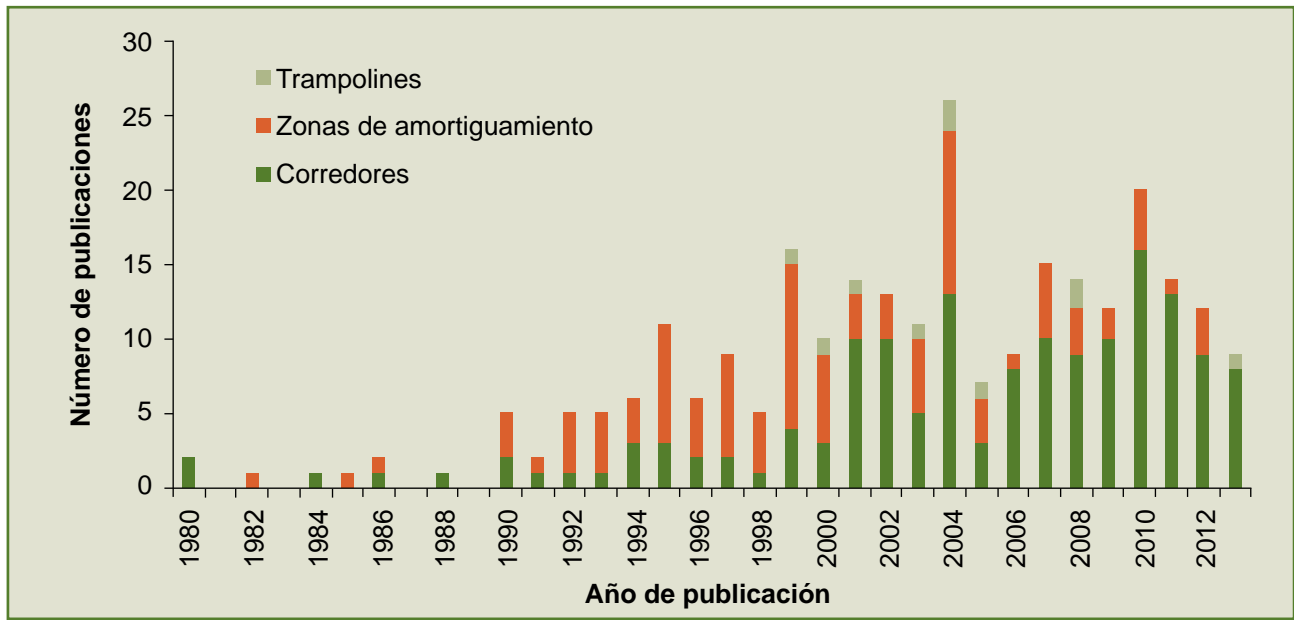


Figura 1. Distribución cronológica de publicaciones usando las palabras clave “Agroforestería”, “Corredor Ecológico”, “Zona de Amortiguamiento”, y “Trampolines Ecológicos”. Un total de 18 (6%) estudios publicados entre 1979 y 1984 no fueron incluidos en la figura.

2.2 El papel de diferentes prácticas de SAF sobre la conectividad del paisaje

En general, el número de estudios sobre el papel de los SAF en la conectividad funcional del paisaje es mayor en otras regiones geográficas que en Latinoamérica (Haas 1995, Smart et al. 2001). Por ejemplo, el trabajo de Haas (1995) es uno de los primeros estudios que ofrece datos de movimiento de aves en bosques ribereños y cortinas rompevientos en los Estados Unidos. Haas concluye que el movimiento de especies en bosques ribereños como corredores y trampolines ecológicos fue varias veces mayor en éstos (dependiendo de la distancia) que en áreas no conectadas por ellos.

Entre los estudios hechos en Latinoamérica, Francesconi et al. (2011a y 2011b) describen el uso de cercas vivas para incrementar la conectividad del paisaje en aves. A pesar de que el número de especies de aves típicas de bosque disminuyó con mayor distancia al bosque, ciertas características de las cercas vivas fueron significativas para el uso y posible desplazamiento de éstas. Además de la distancia, el diámetro de la copa, el diámetro del tronco, y la diversidad de los árboles en las cercas vivas, fueron variables significativas para estimar el número de especies de aves en el paisaje agrícola. Los resultados sugieren que las cercas vivas con mayor diversidad y mayor cobertura vegetal pueden proporcionar hábitat durante el desplazamiento de especies típicas de bosque.

Existen también varios estudios en Europa, Canadá y Nueva Zelanda que evalúan el uso de setos para la conectividad del paisaje agrícola (Burel 1996, Charrier et al. 1997, Smart et al. 2001, Deckers et al. 2005, Davies y Pullin 2007, Roy y de Blois 2008). Aunque no necesariamente son descritos como SAF, los setos son cercas vivas con arbustos y son una práctica agroforestal común en zonas templadas. Entre los estudios listados, Davies y Pullin (2007) hacen una revisión de la literatura sobre la función de los setos para favorecer el movimiento de animales. Ellos concluyen que en el 44% de los casos, el desplazamiento de especies (con algunas excepciones como el lirón gris, *Glis glis*, o aves de mayor tamaño) estuvo positivamente correlacionado con la complejidad estructural y la cobertura vegetal (número de setos) en el paisaje.

Así como los setos, muchas prácticas agroforestales incorporan árboles o arbustos en los cultivos o pasturas. En general, las prácticas agroforestales incrementan el número de árboles en el paisaje agrícola, los cuales se asume son usados por la fauna y la flora para desplazarse (Harvey et al. 2004, Schroth et al. 2004). Las prácticas de SAF más estudiadas por su potencial función en ecología del paisaje son los cultivos perenes (café, cacao, etc.) bajo sombra (39%), las cercas vivas (o setos; 39%), y los bosques ribereños (22%). Los estudios que demuestran una mayor presencia de especies de vida silvestre en los SAF que en monocultivos agrícolas, sugieren que éstos son preferidos como hábitat para desplazamientos locales (Gabriel y Pizo 2005, Horgan 2009, Hernández et al. 2013). Por lo tanto, la presencia de especies típicas de áreas naturales en los SAF se interpreta como un indicador de la restauración de los servicios ecológicos por parte de éstos. Sin embargo, para confirmar este supuesto es necesario demostrar que el movimiento realmente ocurre a través de los SAF pero son pocos los estudios que hasta ahora han evaluado los SAF usando metodologías apropiadas.

3. ESTUDIOS DE CASO SOBRE EL PAPEL DE LOS SAF EN LA CONECTIVIDAD DEL PAISAJE AGRÍCOLA EN LATINOAMÉRICA

3.1 Los SAF como zonas de amortiguamiento

En la Reserva Nacional de Tambopata, en la selva amazónica del Perú, al sur del río Madre de Dios, Naughton-Treven et al. (2003) describen el uso de SAF como zonas de amortiguamiento de las áreas protegidas. Aunque no se presentan datos de movimiento per se, el estudio evidencia el uso de las parcelas de agricultura de corte y quema por mamíferos silvestres. La agricultura de corte y quema es considerada un sistema agroforestal si es realizada de manera sostenible, con periodos suficientemente largos de barbecho para permitir la regeneración natural, así como enriquecimiento de los barbechos con especies útiles para acelerar la recuperación de los terrenos y hacer uso de algunos productos (Ramakrishnan 1993).

En la reserva de Tambopata, el uso de las parcelas agroforestales por animales silvestres fue menor que en los barbechos o en el bosque, y estuvo positivamente correlacionado con el nivel de cobertura vegetal. Dado que todos los mamíferos muestreados eran especies del bosque, su presencia en los diferentes usos de la tierra se asumió como indicador de su preferencia para desplazarse. Los autores también sugieren que el uso de los SAF fue diferente entre las especies evaluadas, y que estuvo asociado a factores estacionales (Naughton-Treven et al. 2003).

En este estudio de caso, las parcelas de corte y quema no contribuyen a la conservación de especies silvestres, sino que por el contrario, éstas tienden a servir como “sumideros ecológicos.” Debido a las condiciones socioeconómicas y geográficas de las comunidades agrícolas en Tambopata, los mamíferos silvestres en los SAF representan una molestia y al mismo tiempo una fuente alternativa de ingresos para los agricultores. Por ejemplo, los agutís y los ocelotes producen pérdidas en las cosechas y de animales de granja, respectivamente. Al mismo tiempo, la caza de estos animales representa una compensación económica para el productor. Este estudio demuestra que la función de los SAF como zonas de amortiguamiento podría tener efectos negativos para las especies cuando la matriz está compuesta en su mayoría por hábitat natural. La presencia de animales silvestres en sistemas SAF no sólo puede incrementar la posibilidad de que éstos sean cazados

(Lira Torres et al. 2004, Harvey et al. 2006), sino también atacados por otros animales (Rodríguez et al. 2001, Zuria et al. 2007), o expuestos a contraer enfermedades típicas de animales domésticos (Nava et al. 2008).

Un estudio realizado por Williams-Guillén y Perfecto (2010) muestra datos de presencia/ausencia y recaptura de murciélagos en Chiapas, México. Los autores compararon la riqueza de especies de acuerdo con los hábitos alimenticios en distintos usos de la tierra. El paisaje en esta región está compuesto por cultivos de café con diferentes niveles de sombra (alto, medio y bajo), y de pequeñas áreas remanentes de bosque. Los resultados demuestran una mayor diversidad de especies de murciélagos en el bosque y en los cafetales de mayor cobertura vegetal (alta y media). Sin embargo, la composición de especies de murciélagos fue diferente entre el bosque y los cafetales, y entre los cafetales con alta cobertura vegetal y aquellos con baja cobertura.

Los autores concluyen que los cafetales con niveles de sombra alto y medio mostraron valores de diversidad intermedios, comparados con las áreas de bosque y los cafetales con bajos niveles de sombra. Estos resultados son similares a otros estudios que comparan los SAF con hábitats naturales y con hábitats de menor complejidad ecológica (Harvey et al. 2006, Bhagwat et al. 2008). En cuanto a la composición de especies en los cafetales, el estudio muestra una relación positiva entre el nivel de cobertura vegetal de los cafetales y las especies de murciélagos típicas de los fragmentos de bosque.

Los datos de movimiento reportados por Williams-Guillén y Perfecto (2010) revelan que el porcentaje de individuos recapturados fue relativamente bajo (3%). La mayoría de las recapturas ocurrieron en el bosque (45%), y fueron seguidas por los cafetales con alta densidad de árboles (29%). Aunque los movimientos de los murciélagos no fueron examinados en detalle, su preferencia por las áreas con mayor cobertura vegetal comprueba el uso de estas áreas para sus desplazamientos. Los autores sugieren que los cafetales con sombra de alta cobertura vegetal son visitados frecuentemente por murciélagos como hábitat para actividades diurnas y nocturnas. Por lo tanto, estos tipos de SAF funcionan no sólo en el desplazamiento, sino también como hábitat permanente para los murciélagos.

3.2 Los SAF como corredores ecológicos

Redondo-Brenes y Montagnini (2010) compararon el uso de los SAF por aves dentro del Corredor Biológico Paso de la Danta, al sur de Costa Rica. El corredor es parte del Corredor Biológico Mesoamericano. Con un total de 82.000 ha, el corredor está compuesto por diferentes hábitats, incluyendo bosques, sistemas agroforestales (huertos familiares y sistemas silvopastoriles) y otros usos de la tierra. Los resultados del conteo de aves mostraron que los barbechos forestales (con 155 especies), los bordes de bosques (154), los huertos familiares (148), y los sistemas agrosilvopastoriles (143) son los usos de la tierra que albergaban la mayor cantidad de especies (Redondo-Brenes y Montagnini 2010).

La riqueza de especies en los SAF mostró valores intermedios, lo que refleja una complejidad ecológica mayor que la de los monocultivos, pero menor que la de las reservas biológicas presentes en el corredor (Redondo-Brenes y Montagnini 2010). En cuanto a la composición de especies de aves, se mostró una mayor semejanza de los SAF con monocultivos y las áreas residenciales que con las áreas naturales. Al igual que los valores intermedios de riqueza de especies, estos resultados también son característicos de muchos SAF que albergan especies generalistas y comunes de áreas abiertas (Bhagwat et al. 2008, Francesconi et al. 2011a).

Una mayor semejanza en la composición de especies con las áreas de monocultivo sugiere que existen limitaciones en el papel de los SAF para favorecer la conservación de especies de vida silvestre. Sin embargo, los autores reportan que entre las especies de mayor importancia para su conservación, casi la mitad (45%) fueron encontradas en los SAF. Además, los autores señalan la importancia de los huertos familiares y sistemas agrosilvopastoriles como hábitat para un 70% de la diversidad de aves de esa región, incluyendo el papagayo rojo (*Ara macao*), la cual es una especie en peligro de extinción en Costa Rica. A pesar de albergar especies comunes de áreas abiertas, los autores concluyen que la presencia de las especies típicas de bosque en los SAF se puede tomar como un indicador de conectividad de paisaje (Redondo-Brenes y Montagnini 2010).

Otro trabajo también realizado en Costa Rica, en la región nororiental del país, ofrece datos de desplazamiento de aves para evaluar el uso de dos tipos de SAF (bosques ribereños y cercas vivas) como corredores ecológicos (Gillies y St. Clair 2010). Usando una metodología de telemetría, los autores registraron el movimiento de aves en un paisaje principalmente conformado por pasturas agrícolas, utilizando dos especies de pájaros insectívoros y especialistas de bosque: el batará barrado - *Thamnophilus doliatus*, y la matraquita nuquirufa - *Campylorhynchus rufinucha*. Las aves fueron capturadas en el bosque, trasladadas a áreas en la pastura donde fueron liberadas, y rastreadas para observar su movimiento en el paisaje. Este tipo de metodología evalúa directamente las contribuciones de los SAF para favorecer la conectividad funcional del paisaje.

Los resultados de la investigación mostraron diferentes comportamientos entre las dos especies de aves. El uso de los bosques ribereños fue mayor en los batará barrados que en los matraquita nuquirufa, los cuales están más habituados a usar áreas de bosque degradado con poco sotobosque. Para los matraquita nuquirufa no hubo distinción entre el uso de los SAF o la pastura abierta para sus desplazamientos. En el caso de los batará barrados, la preferencia por los bosques ribereños fue significativa, en comparación con la pastura y las cercas vivas. Este estudio confirma la importancia de los bosques ribereños para favorecer la conectividad del paisaje para algunas especies. Cabe recalcar la importancia de la calidad del hábitat de los corredores agroforestales, ya que la cobertura vegetal y la composición de especies de un bosque ribereño y de una cerca viva son muy diferentes, así como los requisitos para el movimiento de las distintas especies.

El uso de los SAF para promover el desplazamiento de animales está ligado a las características del paisaje y a las especies que se deseen conservar. A diferencia de los resultados de Gillies y St. Clair, en Costa Rica, el uso de cercas vivas como corredores ecológicos para el desplazamiento de aves fue confirmado en el suroeste de Brasil (Gabriel y Pizo 2005). Los autores describen el uso frecuente de las cercas vivas por aves durante desplazamientos y vocalizaciones. Otros comportamientos, tales como posarse para descansar o de forrajeo también fueron reportados. Durante el periodo de muestreo (un año), los autores no observaron nidos en las cercas vivas, lo cual sugiere que las aves las usan solamente para desplazamientos en el paisaje.

Para evaluar el uso de las cercas vivas como corredores ecológicos, el movimiento de las aves se estimó con recapturas en diferentes secciones de las cercas. Aunque el número de recapturas fue bajo (15 recapturas entre 391 capturas), los autores validan el uso de las cercas como corredores ecológicos. Además, explican que los desplazamientos a través de las cercas vivas ocurren de diferentes formas por parte de las distintas especies de aves. Los autores observaron que diferentes especies utilizaban principalmente el dosel, el sotobosque, o el borde de la cerca viva (Gabriel y Pizo 2005).

3.3 Los SAF como trampolines ecológicos

A continuación presentamos dos estudios relacionados con el uso de los SAF como trampolines ecológicos para examinar el movimiento de murciélagos y mariposas. En la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, en el centro del Estado de Veracruz, México, se compararon tres bosques ribereños y una cerca viva con respecto a su función como corredores y trampolines ecológicos (Estrada y Coates-Estrada 2001). El desplazamiento de murciélagos se estudió utilizando una metodología de marca-recaptura. La riqueza de especies no sólo fue alta en los SAF, sino que fue similar a la de los fragmentos de bosque, verificando su uso como hábitat temporal. Sin embargo, en los bosques ribereños se capturaron un mayor porcentaje de especies (79%, 62%, y 52%) que en la cerca viva (41%). Los autores concluyen que los SAF, y particularmente los bosques ribereños en esta región, proporcionan amplios recursos (alimento y refugio) para hospedar especies de murciélagos como hábitat permanente.

Aunque las especies más comunes en los SAF también fueron las más frecuentes en los fragmentos de bosque, el número total de recapturas fue bajo (7%). Entre las recapturas, sólo el 2% de los desplazamientos comprueban movimientos entre los fragmentos de bosque (u otros usos de la tierra) y los SAF. A pesar de la poca evidencia para verificar el uso de los bosques ribereños y las cercas vivas como corredores o trampolines ecológicos, los autores ratifican sus contribuciones al incremento de la conectividad del paisaje. La presencia de los SAF en el paisaje reduce el efecto de aislamiento causado por las actividades agrícolas en la región, y son posiblemente usados como hábitat secundario por los murciélagos (Estrada y Coates-Estrada 2001).

Otro estudio que examinó el papel de los SAF (huertos familiares y café bajo sombra) como trampolines ecológicos fue realizado en Pontal do Paranapanema, en el Estado de São Paulo, Brasil (Francesconi 2011). Utilizando también una metodología de marca-recaptura, mariposas frugívoras fueron atrapadas en fragmentos de bosque. Éstas fueron marcadas, trasladadas, y liberadas en el punto medio del mosaico agrícola, localizado entre dos fragmentos de bosque. El movimiento de las mariposas entre los distintos usos de la tierra fue monitoreado a través de una red de trampas que cubría el paisaje. Al igual que en los estudios anteriormente descritos usando metodologías similares, el número de recapturas fue bajo, en comparación con las capturas totales (9%). Los resultados indicaron que el mayor número de recapturas de mariposas ocurrió en los huertos familiares (23%), sin embargo, debido a la variabilidad entre las parcelas, no hubo diferencias significativas entre los huertos y los demás usos de la tierra. Por otro lado, las recapturas en las parcelas de café con sombra fueron similares a las recapturas en el borde de bosque, y éstas a su vez fueron significativamente mayores a las de la pastura (matriz) y los monocultivos con caña de azúcar.

Los resultados sugieren que las mariposas típicas de bosque al ser liberadas en un hábitat hostil (como las pasturas) no diferencian entre una parcela de café con sombra y un área de borde de bosque. Por lo tanto se concluye que al salir de un hábitat apto (como el bosque) en busca de nuevos recursos, las mariposas utilizarían las parcelas de café con sombra como trampolines ecológicos para desplazarse en el paisaje agrícola. El uso de los huertos familiares como trampolines ecológicos es más ambiguo, y los resultados no llevaron a conclusiones concretas sobre su función incrementando la conectividad del paisaje para las mariposas frugívoras de bosque (Francesconi 2011).

CONCLUSIONES

El número de estudios que evalúan el uso de los SAF como herramientas para incrementar la conectividad funcional del paisaje agrícola en América Latina es limitado. Dada la variabilidad de los paisajes agrícolas en América Latina, de los SAF, y de los requisitos ambientales de las distintas especies, es difícil hacer generalizaciones sobre el papel de los SAF en la conectividad funcional del paisaje. Según los estudios descritos en esta revisión, el nivel de cobertura vegetal es el factor más fuertemente asociado con el desplazamiento de especies en el paisaje agrícola. Es posible que el nivel de cobertura vegetal, más que la complejidad ecológica de los SAF y su similitud a las áreas naturales, favorezca el movimiento de animales en el paisaje agrícola. De esta forma, independientemente del tipo de SAF (cerca viva, bosque ribereño, huerto familiar, etc.), el nivel de cobertura vegetal puede servir como indicador para evaluar la capacidad de los SAF para fomentar el desplazamiento de especies de vida silvestre.

La condición de los SAF como usos de la tierra con fines agrícolas limita su condición como hábitat permanente para la mayoría de las especies de vida silvestre. El éxito de los SAF como estrategia para favorecer la conectividad del paisaje no sólo radica en facilitar el movimiento de especies, sino también en comprobar que éstos no funcionan como sumideros ecológicos. Los SAF son efectivamente utilizados por algunas especies típicas de bosque para desplazarse, pero estos movimientos tienden a ser menos frecuentes de lo que la literatura hasta ahora ha sugerido.

Finalmente, es necesaria una mayor claridad sobre cómo definir y clasificar las prácticas de SAF como herramientas para desarrollar programas de conservación del paisaje. Hasta el momento, no existe un consenso en cómo aplicar los conceptos en ecología del paisaje a los SAF. Los estudios disponibles proporcionan casos y evidencias sobre la evaluación de los SAF como herramientas para favorecer la ecología del paisaje. Dada la gran variabilidad de prácticas y de especies de interés, es preciso disponer de un mayor número de estudios experimentales para enfocar esfuerzos hacia la conservación de las especies más vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

- Adriaensen, F; Chardon JP; De Blust, G; Swinnen, E; Villalba, S; Gulinck, H; Matthysen, E. 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning* 64:233-247.
- Altieri, MA; Delate, KM. 1992. The landscape ecology of agroforestry systems: an example from California. *Bulletin of the Ecological Society of America* 73:96-96.
- Anbumozhi, V; Yamaji, E. 2001. Riparian land use and management of nonpoint source pollution in a rural watershed. *Journal of Rural Planning Association* 20:55-59.
- Baum, KA; Haynes, KJ; Dilleuth, FP; Cronin, JT. 2004. The matrix enhances the effectiveness of corridors and stepping stones. *Ecology* 85(10):2671-2676.
- Beier, P; Noss, RF. 1998. Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12(6):1241-1252.
- Beier, P; Majka, DR; Newell, SL. 2009. Uncertainty analysis of least-cost modeling for designing wildlife linkages. *Ecological Applications* 19:2067-2077.
- Bennett, G; Mulongoy, KJ. 2006. Review of Experience with Ecological Networks, Corridors and Buffer Zones. Technical Series No. 23, Montreal, Canadá, Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Bhagwat, SA; Willis, KJ; Birks, HJB; Whittaker, RJ. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution* 23:261-267.
- Burel, F. 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 15:169-190.
- Charrier, S; Petit, S; Burel, F. 1997. Movements of *Abax parallelepipedus* (Coleoptera, Carabidae) in woody habitats of a hedgerow network landscape: a radio-tracing study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 61(2):133-144.
- Dahlquist, RM; Whelan, MP; Winowiecki, L; Polidoro, B; Candela, S; Harvey, CA; Wulforth, JD; McDaniel, PA; Bosque-Pérez, NA. 2007. Incorporating livelihoods in biodiversity conservation: a case study of cacao agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* 16(8):2311-2333.
- Davies, ZG; Pullin, AS. 2007. Are hedgerows effective corridors between fragments of woodland habitat? An evidence-based approach. *Landscape Ecology* 22: 333-351.
- Dawson, IK; Hollingsworth, PM; Doyle, JJ; Kresovich, S; Weber, JC; Montes, CS; Pennington, TD; Pennington, RT. 2008. Origins and genetic conservation of tropical trees in agroforestry systems: a case study from the Peruvian Amazon. *Conservation Genetics* 9:361-372.
- Dawson, IK; Guariguata, MR; Loo, J; Weber, JC; Lengkeek, A; Bush, D; Cornelius JP; Guarino, L; Kindt, R; Orwa, C; Russell, J; Jamnadass, RH. 2013. What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in circa situm, in situ and ex situ settings? A review. *Biodiversity and Conservation* 22:301-324.
- 376 De Beenhouwer, M; Aerts, R; Honnay, O. 2013. A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 175:1-7.
-

- Deckers, B; Verheyen, K; Hermy, M; Muys, B. 2005. Effects of landscape structure on the invasive spread of black cherry *Prunus serotina* in an agricultural landscape in Flanders, Belgium. *Ecography* 28(1):99-109.
- Estrada, A; Cammarano, P; Coates-Estrada, R. 2000. Bird species richness in vegetation fences and in strips of residual rain forest vegetation at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 9:1399-1416.
- Estrada, A; Coates-Estrada, R. 2001. Bat species richness in live fences and in corridors of residual rain forest vegetation at Los Tuxtlas, Mexico. *Ecography* 24:94-102.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 34:487-515.
- Forman, RTT; Baudry, J. 1984. Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. *Environmental Management* 8:495-510.
- Forman, RTT. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge, USA., Cambridge University Press. 19 p.
- Francesconi, W. 2011. *Assessing Landscape Connectivity Using Butterfly Distribution and Disseminating Agroforestry Technologies in Agrarian Settlements in Brazil* (en línea). Tesis PhD. University of Florida. Disponible En: <http://ufdc.ufl.edu/UFE0043608/00001>
- Francesconi, W; Montagnini, F; Ibrahim, M. 2011a. Living fences as linear extensions of forest remnants: a strategy for restoration of connectivity in agricultural landscapes. *In: Montagnini, F; Finney, C. (Eds.). Restoring degraded landscapes with native species in Latin America*. New York, Nova Science Publishers. Pp. 115-126.
- Francesconi, W; Montagnini, F; Ibrahim, M. 2011b. Using bird distribution to evaluate the potential of living fences to restore landscape connectivity in pasturelands. *In: Montagnini, F; Francesconi, W; Rossi, E. (Eds.). Agroforestry as a tool for landscape restoration*. New York, Nova Science Publishers. Pp. 133-142.
- Gabriel, VdA; Pizo, MA; Gabriel, VdA. 2005. The use of fencerows by birds in a fragmented landscape of the Atlantic Rainforest. *Natureza e Conservação* 3:79-89(portugués), 182-192(inglés).
- Galindo-González, J; Guevara, S; Sosa, VJ. 2000. Bat- and bird-generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. *Conservation Biology* 14:1693-1703.
- Gilbert-Norton, L; Wilson, R; Stevens, JR; Beard, KH. 2010. A meta-analytic review of corridor effectiveness. *Conservation Biology* 24(3):660-668.
- Gillies, CS; St Clair, CC. 2010. Functional responses in habitat selection by tropical birds moving through fragmented forest. *Journal of Applied Ecology* 47:182-190.
- González-Valdivia, NA; González-Escolástico, G; Barba, E; Hernández-Daumás, S; Ochoa-Gaona, S. 2013. Mirmecofauna associated with agroforestry systems in the Mesoamerican Biological Corridor in Tabasco, Mexico. *Revista Mexicana De Biodiversidad* 84:306-317.
- Groom, MJ; Meffe, GK; Carroll, CR. 2005. *Principles of conservation biology*. Sunderland, Massachusetts, USA, Sinauer Associates. 699 p.

- Haas, CA. 1995. Dispersal and use of corridors by birds in wooded patches on an agricultural landscape. *Conservation Biology* 9:845-854.
- Harvey, CA; González, J; Somarriba, E. 2006. Dung beetle and terrestrial mammal diversity in forests, indigenous agroforestry systems and plantain monocultures in Talamanca, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* 15:555-585.
- Harvey, CA; Medina, A; Sánchez, DM; Vilchez, S; Hernandez, B; Saenz, JC; Maes, JM; Casanoves, F; Sinclair, FL. 2006. Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16:1986-1999.
- Hernández, SM; Mattsson, BJ; Peters, VE; Cooper, RJ; Carroll, CR. 2013. Coffee agroforests remain beneficial for neotropical bird community conservation across seasons. *PLoS* 1:8-9.
- Hobbs, RJ. 1993. Effects of landscape fragmentation on ecosystem processes in the Western Australian wheatbelt. *Biological Conservation* 64(3):193-201.
- Horgan, FG. 2009. Invasion and retreat: shifting assemblages of dung beetles amidst changing agricultural landscapes in central Peru. *Biodiversity and Conservation* 18:3519-3541.
- Jose, S. 2012. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems* 85:1-8.
- Kumaraswamy, S; Kunte, K. 2013. Integrating biodiversity and conservation with modern agricultural landscapes. *Biodiversity and Conservation* 22:2735-2750.
- Lazzaro, L; Otto, S; Zanin, G. 2008. Role of hedgerows in intercepting spray drift: Evaluation and modelling of the effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123:317-327.
- Lira Torres, I; Naranjo Piñera, EJ; Güiris Andrade, DM; Cruz Aldán, E. 2004. Ecología de *Tapirus Bairdii* (Perissodactyla: Tapiridae) en la Reserva de la Biosfera El Triunfo (Polígono I), Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 1:1-21.
- Naughton-Treves, L; Mena, JL; Treves, A; Alvarez, N; Radeloff, VC. 2003. Wildlife Survival Beyond Park Boundaries: the Impact of Slash-and-Burn Agriculture and Hunting on Mammals in Tambopata, Peru. *Conservation Biology* 17(4):1106-1117.
- Nava, AFD; Cullen, L; Sana, DA; Nardi, MS; Ramos Filho, J; Lima, TF; Abreu, KC; Ferreira, F. 2008. First evidence of canine distemper in Brazilian free-ranging felids. *Ecohealth* 5:513-518.
- Navarro, A; Benites, H. 1995. El dominio del aire. Fondo de cultura económica. México D.F., México.
- Palacios, CP; Agüero, B; Simonetti, JA. 2013. Agroforestry systems as habitat for herpetofauna: is there supporting evidence? *Agroforestry Systems* 87:517-523.
- Pankau, RC; Schoonover, JE; Williard, KWJ; Edwards, PJ. 2012. Concentrated flow paths in riparian buffer zones of southern Illinois. *Agroforestry Systems* 84:191-205.
- Ramakrishnan, PS. 1993. *Shifting Agriculture and Sustainable Development: An Interdisciplinary Study from North-Eastern India*, Delhi: UNESCO and OUP.
- Redondo-Brenes, A; Montagnini, F. 2010. Contribution of homegardens, agrosilvopastoral systems, and other human-dominated land-use types to the avian diversity of a biological corridor in Costa Rica. *Advances in Environmental Research* 2(2):111-148.
- Rocha, MF; Passamani, M; Louzada, J. 2011. A small mammal community in a forest fragment, vegetation corridor and coffee matrix system in the Brazilian Atlantic forest. *PLoS One* 6.

- Rodríguez, A; Andrén, H; Jansson, G. 2001. Habitat-mediated predation risk and decision making of small birds at forest edges. *Oikos* 95:383-396.
- Roy, V; de Blois, S. 2008. Evaluating hedgerow corridors for the conservation of native forest herb diversity. *Biological Conservation* 141:298-307.
- Sambuichi, RHR; Vidal, DB; Piasentin, FB; Jardim, JG; Viana, TG; Menezes, AA; Mello, DLN; Ahnert, D; Baligar, VC. 2012. Cabruca agroforests in southern Bahia, Brazil: tree component, management practices and tree species conservation. *Biodiversity and Conservation* 21:1055-1077.
- Saunders, DA; Hobbs, RJ; Margules, CR. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation - a review. *Conservation Biology* 5:18-32.
- Schroth, GA; Fonseca, G; Harvey, C; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. (Eds.). 2004. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington DC, USA, Island Press. 575 p.
- Smart, SM; Bunce, RGH; Stuart, RC; Barr, C; Petit, S. 2001. An assessment of the potential of British hedges to act as corridors and refuges for Ancient Woodland Indicator plants. *In: Hedgerows of the world: their ecological functions in different landscapes*. Pp. 137-146. Proceedings, 10th Annual Conference of the International Association for Landscape Ecology [Birmingham, USA., 5-8 Sept. 2001]. p. 137-146.
- Tischendorf, L; Fahrig, L. 2000. How should we measure landscape connectivity? *Landscape Ecology* 15:633-641.
- Tres, DR; Reis, A. 2007. La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. *Actas, II Simposio Internacional sobre restauración ecológica*. [La Habana, Cuba, 16-22 abr. 2007]. 11 p.
- Turner, MG. 2005. Landscape ecology: What is the state of the science? *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 36:319-344.
- Uezu, A; Beyer, DD; Metzger, JP. 2008. Can agroforest woodlots work as stepping stones for birds in the Atlantic forest region? *Biodiversity and Conservation* 17:1907-1922.
- Williams-Guillén, K; McCann, C; Sánchez, JCM; Koontz, F. 2006. Resource availability and habitat use by mantled howling monkeys in a Nicaraguan coffee plantation: can agroforests serve as core habitat for a forest mammal? *Animal Conservation* 9:331-338.
- Williams-Guillén, K; Perfecto, I. 2010. Effects of agricultural intensification on the assemblage of leaf-nosed bats (Phyllostomidae) in a coffee landscape in Chiapas, Mexico. *Biotropica* 42:605-613.
- Wu, JJ. 2013. Landscape ecology. *In: Leemans, R. (Ed.). Ecological Systems*. Nueva York, Springer New York. Pp. 179-200.
- Zuria, I; Gates, JE; Castellanos, I. 2007. Artificial nest predation in hedgerows and scrub forest in a human-dominated landscape of central Mexico. *Acta Oecologica* 31(2):158-167.



Capítulo 18

BIODIVERSIDAD, MANEJO DE NUTRIENTES Y SEGURIDAD ALIMENTARIA EN HUERTOS CASEROS MESOAMERICANOS

Florencia Montagnini¹ y Ruth Metzler²

¹ Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios Ambientales,
360 Prospect St., New Haven, CT 06511, EE.UU.,

Correo electrónico: florencia.montagnini@yahoo.com, florencia.montagnini@yale.edu

² Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios Ambientales,
195 Prospect St., New Haven, CT 06511, EE.UU.

RESUMEN

La región centroamericana está densamente poblada y sufre de pobreza y malnutrición en áreas rurales y urbanas. Los huertos familiares o caseros, que suplen a la familia con alimentos, además de productos para generar dinero en efectivo, son muy importantes tanto en América Central como en muchas otras regiones de América Latina donde cumplen las funciones señaladas.

Los huertos familiares centroamericanos son muy diversos en su estructura vertical y horizontal, así como en su composición de especies. Se utilizan plantas tanto exóticas como nativas, con énfasis en árboles frutales. Distintas regiones en Mesoamérica fueron pobladas por la civilización Maya que implementó sistemas agrarios sostenibles durante siglos, los cuales incluían una gran variedad de cultivos nativos y la aplicación de conocimientos indígenas sobre el reciclaje de nutrientes y la conservación de suelos. Muchas comunidades indígenas, descendientes de la antigua civilización Maya, todavía cultivan huertos caseros con técnicas que incluyen manejo de residuos y deposición de cenizas, lo cual aumenta el reciclaje y la conservación de nutrientes. Actualmente en muchos huertos familiares de América Central se practican diversas técnicas de manejo intensivo, tales como el uso de canchales elevados, barreras de contención para evitar la erosión, lombricultura, uso de residuos de hojarasca y domiciliarios para fertilizar los suelos, entre otros.

Los animales domésticos, especialmente gallinas y cerdos, ayudan a complementar una dieta generalmente deficiente en proteínas y pueden generar una entrada de dinero extra para el hogar. Frecuentemente los huertos familiares son utilizados como herramientas en proyectos de desarrollo que promueven la seguridad alimentaria, particularmente en las áreas más pobres de América Central. Debido a sus múltiples beneficios nutricionales, culturales, y ambientales, es necesario favorecer estrategias de manejo que promuevan el reciclaje de nutrientes y mantengan una alta diversidad de especies para asegurar la sostenibilidad de los huertos caseros en la región.



INTRODUCCIÓN

Los huertos familiares o huertos caseros son sistemas agroforestales (SAF) diseñados y manejados para la producción de cultivos de subsistencia para el agricultor y su familia, con o sin cultivos de mercado. Pueden estar inmediatamente rodeando la casa o un poco más alejados pero aún cerca del área de residencia. Los huertos familiares son probablemente los SAF más antiguos y más generalizados mundialmente (Montagnini et al. 1992). Son el único SAF que se practica tanto en áreas urbanas como rurales, y tanto en áreas pobres como en áreas de mayores ingresos. Son uno de los SAF más importantes por sus funciones sociales y para la subsistencia, por lo cual son un instrumento clave en programas mundiales de desarrollo rural (Méndez et al. 2001, Blanckaert et al. 2004). Sin embargo, son uno de los SAF más complejos, y también los más difíciles de estudiar y de mejorar para producir más ingresos y aumentar sus servicios ecológicos (Montagnini et al. 1992).

Los huertos familiares son uno de los SAF más antiguos: en el SE de Asia están documentados en pinturas y en papiros de 3000 años A.C. Los “huertos forestales” tradicionales combinan árboles con un sotobosque de cultivos anuales y perennes. Pequeños parches de este tipo de “agrobosque” pueden proveer servicios ambientales como la conservación de la biodiversidad, cumpliendo con necesidades de conservación en regiones donde prevalece la deforestación y crecimiento de población como en gran parte de regiones tropicales y subtropicales del mundo (Harvey et al. 2005, Redondo-Brenes y Montagnini 2010).

Gran parte de lo que hoy se conoce como América Central, así como partes de México, fueron pobladas por la civilización Maya, de la cual se encuentran aún evidencias en el sur de México, Guatemala y Belice. Se sabe que los Maya practicaron sistemas de agricultura sostenible por siglos, cultivando una gran variedad de especies nativas y aplicando conocimientos indígenas sobre el reciclaje de nutrientes y la conservación de suelos (de Clerck y Negreros-Castillo 2000, Benjamin et al. 2001). En regiones como el valle Tehuacán-Cuicatlán, en el centro de México, las culturas humanas tienen una historia de casi 10.000 años y actualmente varios grupos étnicos indígenas siguen tradiciones culturales en la recolección y cultivo de plantas (González-Soberanis y Casas 2004). Se ha documentado la existencia de casi 1.200 especies de plantas utilizadas por poblaciones locales, la mayoría de las cuales son nativas y silvestres (Casas et al. 2001, González-Soberanis y Casas 2004).



En América Central, los huertos caseros son también frecuentes en áreas rurales y peri-urbanas de Nicaragua, El Salvador, Costa Rica y Panamá. Los “huertos forestales” y “huertos caseros o familiares” tradicionales combinan árboles con un sotobosque de cultivos anuales y perennes, y a veces ganado. Los miembros de la comunidad viven dentro o cerca de sus huertos y los mantienen por muchas generaciones. En los pueblos Maya que se encuentran actualmente en la Península de Yucatán, México, esta clase de huertos forestales cubre aproximadamente un 10% del área boscosa de la región (Noble y Dirzo 1997). Pequeños parches de bosque o agrobosque pueden proveer servicios ambientales locales o regionales, tales como la conservación de la biodiversidad (Guindon 1996, Harvey y Haber 1999). Así, la práctica de mantener huertos caseros puede cumplir con necesidades de conservación de bosques en regiones donde la deforestación y el crecimiento de población son amenazas constantes, tal como es el caso en gran parte de América Latina.

Al igual que en otras regiones neotropicales, tales como la del Amazonas, los huertos caseros centroamericanos actuales representan la reorganización de las prácticas indígenas originales, debido a los cambios causados por la colonización, entre los cuales sobresale la incorporación de árboles frutales y de cultivos exóticos. Actualmente, los huertos caseros son de importancia vital para la economía local de subsistencia y la seguridad alimentaria, especialmente en regiones que todavía tienen influencia de la cultura Maya (Méndez et al. 2001, Blanckaert et al. 2004, González-Soberanis y Casas 2004).

Este capítulo describe las características de los huertos caseros en Mesoamérica, con énfasis en su biodiversidad, su rol en el reciclaje de nutrientes y su importancia al contribuir a la seguridad alimentaria. Se presenta información sobre sistemas indígenas que han sido implementados por los descendientes de la civilización Maya por muchos siglos, en regiones de México, Belice y Guatemala, además de sistemas utilizados actualmente por otros grupos indígenas, y por otros grupos étnicos en regiones más lejanas a la influencia Maya, tales como Nicaragua, El Salvador, Honduras, Costa Rica y Panamá.

1. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS Y SOCIOECONÓMICAS DE MESOAMÉRICA

1.1 Clima, suelos y vegetación

Desde el punto de vista cultural, Mesoamérica comprende el centro y sur de México, Belice, Guatemala y partes de Honduras y El Salvador. Geográficamente, los otros tres países de América Central (Nicaragua, Costa Rica, y Panamá) también son incluidos en la región. En el presente capítulo nos referimos a Mesoamérica incluyendo a los otros tres países de América Central.

El clima, la vegetación, y los suelos de Mesoamérica son muy heterogéneos, dada la extensión latitudinal de la región y su relieve montañoso. El clima varía desde templado-subtropical en México Norte-Central y Guatemala hasta tropical en el resto de América Central (Richards 1996). El clima es más húmedo (3.000-5.000 mm/año) en el este caribeño que en las cuencas del Pacífico (300-2.000 mm/año) donde hay una fuerte temporada seca. Los suelos en la región son relativamente más jóvenes y más fértiles que muchos de otras regiones de América Latina, tal como en el Amazonas. Los tipos de suelos varían desde oxisoles y ultisoles, los cuales son más viejos y menos fértiles, hasta andosoles e inceptisoles, que son más jóvenes, especialmente en áreas afectadas por la actividad volcánica y en zonas aluviales (Sánchez 1976, De Las Salas 1987). La vegetación de Mesoamérica incluye bosque lluvioso subtropical y tropical en las tierras bajas del Caribe, y bosques secos y sabanas en las cuencas del Pacífico (Richards 1996).

Mesoamérica es la tercera región más biodiversa y uno de los 25 lugares biológicamente más importantes del mundo ("biodiversity hotspots"; Myers et al. 2000). Aunque sólo cubre un estimado 0,5% de la superficie terrestre del planeta, la región mesoamericana alberga aproximadamente 7 a 10% de las especies de plantas y animales del mundo (CCAD 2003, Harvey et al. 2005). Varios árboles que actualmente son utilizados en combinaciones agroforestales a nivel mundial, tales como *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, y algunas especies de *Acacia* y *Mimosa*, tienen sus centros de origen y diversidad en Mesoamérica (NAS 1979, 1980, Dommergues 1987). Los huertos caseros mesoamericanos, además de cumplir con las necesidades alimentarias y económicas inmediatas de la población, también actúan como repositorios de biodiversidad local, gracias a la existencia de una mezcla dinámica de especies nativas útiles.

1.2 Características socioeconómicas y culturales

Con un área terrestre de casi 2,5 millones de km² y una población total de casi 140 millones de personas, Mesoamérica es una de las regiones más densamente pobladas no sólo de Latinoamérica sino del mundo entero (Harvey et al. 2005), con una tasa de crecimiento anual de aproximadamente 2,6 %; se espera que la población se duplique en los próximos 25 años.

A pesar de su crecimiento económico reciente, en América Central la pobreza regional ha impulsado la explotación masiva de recursos naturales. Grandes parches de bosque han sido talados para

producir leña, usados en la producción de papel, y/o deforestados para usos agrícolas. Las poblaciones rurales son considerablemente más pobres que sus contrapartes urbanas (Harvey et al. 2005). Las condiciones prevalentes de pobreza rural y la asociada malnutrición indican la urgencia de sostener sistemas agrícolas que contribuyan a satisfacer las necesidades domésticas urgentes. El huerto casero, cuya función principal es proveer una fuente básica de alimento y productos comercializables para la familia, es extremadamente importante dadas las condiciones socioeconómicas que prevalecen hoy en Mesoamérica.

La región mesoamericana es muy diversa, desde los puntos de vista culturales y socioeconómicos, con una fuerte influencia colonial española (con excepción de Belice) y una dependencia fuerte de la agricultura y de los recursos naturales (Harvey et al. 2005). En partes de Mesoamérica (sur de México, norte de Guatemala, y Belice) los huertos caseros y otras clases de agricultura conllevan la influencia de tradiciones antiguas de los grupos indígenas mayas que vivieron en esta región antes de la llegada de los conquistadores europeos. Las prácticas sostenibles de uso de suelos que implementaron los Maya incluyen terrazas, el uso de algas del suelo o suelos de humedales para enriquecer parcelas de huertos en tierras altas, y otras estrategias de conservación de suelos (Barrera et al. 1977, Turner y Harrison 1981, Beach y Dunning 1995, Fedick y Morrison 2004). La evidencia arqueológica del uso de huertos caseros por los antiguos mayas incluye la ubicación de sitios residenciales dentro de las principales tierras agrícolas, la localización estratégica de residencias para acomodar espacios para huertos, la incorporación de aditivos del suelo, y la distribución de herramientas cerca de las áreas residenciales (Fedick y Morrison 2004).

El declive de la civilización Maya (~700 A.C. – 800 D.C.) ha sido atribuido, en parte, a los complejos cambios económicos, políticos y sociales que los impulsaron a modificar sus prácticas agrícolas tradicionales y sostenibles por sistemas agrarios menos diversos (Barrera et al. 1977, Turner y Harrison 1981, Atran 1993, Atran et al. 1999). Una combinación de factores políticos y ecológicos aparentemente hizo que algunos grupos Maya, como los de las tierras bajas de Petén, Guatemala, cambiaran sus prácticas de agricultura itinerante y diversa por un sistema de agricultura rotativa, “milpa,” más simple, que supe menos productos forestales. Este cambio resultó en un paisaje agrícola y biológico menos diverso (Atran 1993, Steinberg 1998, Atran et al. 1999).

El sistema de “milpa” consiste en parcelas de 2 a 5 hectáreas que se tumban y se queman para cultivar, principalmente con maíz (*Zea mays*). En el sistema tradicional, después de varias cosechas, las parcelas se dejaban para regenerar con un largo periodo en barbecho (15 a 40 años). Actualmente, muchos grupos residentes en regiones tales como el Mopán de Belice han reducido los periodos de barbecho a aproximadamente 5 años. Con un tiempo de barbecho tan corto, la vegetación que regenera en las milpas es mucho menos diversa de la que había en los sistemas tradicionales Maya, con sólo unas pocas especies útiles de arbustos y palmeras (Steinberg 1998). Sin embargo, algunos autores sostienen que solamente la agricultura Maya más sofisticada e intensiva colapsó, mientras que el tipo de agricultura Maya más antigua, simple, y ecológicamente estable, como la milpa, con árboles frutales dispersos, cultivos vegetales y ganado, con los atributos de un huerto casero productivo, ha permanecido y todavía hoy se practica (Atran 1993).

2. BIODIVERSIDAD EN HUERTOS FAMILIARES MESOAMERICANOS

2.1 Composición y estructura

En las diferentes regiones de Mesoamérica, se encuentra una gran variedad de huertos caseros. La inclusión de árboles puede variar, desde una dominancia casi total de especies leñosas y perennes, hasta huertos donde los árboles contribuyen con <20% de la productividad anual.

La mayoría de los huertos caseros mesoamericanos consisten en varios estratos verticales y horizontales, en donde las plantas crecen según su adaptabilidad a las condiciones de luz y nutrientes existentes. La cantidad de plantas individuales por estrato varía, con huertos caseros maduros teniendo estratos de árboles más desarrollados. Algunos huertos caseros se asemejan a parcelas agrícolas, con énfasis sobre los estratos herbáceos y de arbustos bajos, tales como los huertos asociados con café en ciertas regiones de Nicaragua y El Salvador descritos por Méndez et al. (2001). Otros tienen más árboles, con una estructura parecida a la del bosque originario de la región, tales como los huertos multiestrato estudiados por varios autores en zonas Maya en México y Guatemala (Gillespie et al. 1993, de Clerck y Negreros-Castillo 2000, Blanckaert et al. 2004).

Los huertos caseros con buena estratificación vertical tienen el potencial de ser más productivos por unidad de área, porque pueden capturar más recursos y exhibir un ciclo de nutrientes más cerrado. Por ejemplo, los huertos caseros de la región de Petén, Guatemala, revelan una complejidad estructural alta, con un cierre completo de los estratos del dosel. La estructura del huerto resulta en un uso eficiente de la luz y el espacio, con un manejo intensivo para la producción de alimentos y leña, conservando los árboles más útiles después de podar e insertar otros árboles y arbustos deseables en el sotobosque y en los espacios abiertos (Gillespie et al. 1993).

En la mayoría de los huertos caseros mesoamericanos, cada estrato contiene especies de plantas que ocupan un nicho ecológico característico, al igual que un bosque nativo de la misma región. Por ejemplo, en los huertos caseros Mayas, en la península de Yucatán en México, se encuentran seis estratos: plantas herbáceas bajas, arbustos bajos, arbustos altos, árboles frutales, árboles maderables y un estrato con lianas (de Clerck y Negreros-Castillo 2000; Cuadro 1). La composición de especies es muy parecida a la de otros huertos en Mesoamérica y en América Latina en general, con una mezcla de especies nativas y exóticas en cada estrato que satisfacen las necesidades de los agricultores.

El estrato de árboles bajos muchas veces domina en la ausencia del quinto estrato de árboles altos, el cual suele sólo estar presente en los huertos caseros maduros. Sin embargo, esta estructura es aún bastante compleja y permite una variedad de cultivos y productos forestales que se consumen en la casa y/o se venden en mercados locales. Agrobosques multiestratos, que combinan cultivos con especies maderables de alto valor proveen ingresos a corto y largo plazo, con una cosecha de productos repartida durante todo el año.

Cuadro 1. Estratos de un huerto casero típico de Mesoamérica.

Estrato de huerto casero	Altura	Especies comunes	Porcentaje del total de especies
Estrato herbáceo	0-0,5 m	Hierbas y bejucos: albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>), zapallo (<i>Cucurbita</i> spp.), camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	14%
Arbustos (bajos/altos)	0,5 –1,5 m	Plantas herbáceas anuales y perennes: tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>), maíz (<i>Zea mays</i>), ruda (<i>Ruta chalapensis</i>); especies tolerantes a la sombra: yuca (<i>Manihot esculenta</i>), jengibre (<i>Zingiber officinale</i>), piña (<i>Ananas comosus</i>), ñame (<i>Colocasia esculenta</i>).	12% (bajos), 15% (altos)
Árboles bajos	1,6-10 m	Árboles frutales: especies de Citrus	41%
Árboles altos	10-20m	Palmas, árboles frutales altos: mango (<i>Mangifera indica</i>), aguacate (<i>Persea americana</i>), árboles maderables	15%
Especies trepadoras	Suelo-Dosel	Especies trepadoras que producen tubérculos: camote (<i>Ipomoea batatas</i>), varias especies de batatas (<i>Dioscorea</i> spp.).	4%

La estructura horizontal de los huertos caseros revela tendencias determinadas por los usos de las diferentes especies de plantas y árboles. Las plantas ornamentales suelen encontrarse en líneas alrededor de la casa y a la orilla del camino, lo cual refleja sus propósitos estéticos, además de sus usos para delinear la propiedad y sus partes (Blanckaert et al. 2004). En general, las plantas comestibles se encuentran cerca de la casa, en grupos pequeños, para facilitar la limpieza y la poda (Figura 1). Con frecuencia, las plantas medicinales se hallan un poco más cerca que las plantas ornamentales o comestibles (Blanckaert et al. 2004). En Panamá, es común observar plantas medicinales en potes a muy poca distancia o en los portales de las casas (Batista 2014).

Los árboles también muestran tendencias en su ubicación dentro del huerto, que son determinadas por sus usos. Una encuesta de familias en la península de Azuero, Panamá, reveló que los agricultores prefieren sembrar árboles frutales cerca de sus casas, mientras que suelen plantar árboles maderables cerca de linderos u otras partes de la propiedad (Metzel 2010). Por otro lado, en Guatemala, los árboles, sean de especies frutales o maderables, no se siembran cerca de las casas por el peligro de que se caigan y produzcan daños (Azurdía y Leiva 2004). La seguridad del sitio es importante, ya que los huertos caseros son muchas veces un espacio adicional para vivir y trabajar que suplementa las estructuras de viviendas pequeñas (Lok 1998).



Figura 1. Huertos familiares en Huehuetla, Hidalgo, México. Esta región es de bosque húmedo tropical, y la mayoría de las especies son plantas comestibles, medicinales y aromáticas plantadas cerca de la casa (Santana et al. este volumen). Grupos de mujeres en Huehuetla se dedican a la venta de especies medicinales producidas en sus huertos. Foto: F. Montagnini.

La conservación de agua y suelos también contribuye a la estructura horizontal del huerto casero. En regiones semiáridas, donde es preciso el riego, las plantas comestibles se encuentran colina abajo y cerca de la casa para que puedan ser regadas con las aguas recicladas de otros usos domésticos (Méndez et al. 2001, Blanckaert et al. 2004). En el altiplano semiárido de México, la topografía del huerto es importante en su diseño: si la casa está en una ladera o en el tope de una loma, se recomienda plantar especies herbáceas intercaladas con otras de mayor altura, en el contorno, cortando la ladera para evitar deslizamientos o erosión del suelo. Por otro lado, cuando el relieve es plano, se recomienda plantar arbustos o árboles deciduos a alta densidad, para aumentar la sombra y permitir el mejor desarrollo de los cultivos (Terrones Rincón et al. 2011).

2.2 Diversidad de especies de plantas

La diversidad de plantas en huertos caseros de Mesoamérica está determinada por las actividades económicas de los dueños, la disponibilidad de mano de obra, la organización social tradicional, los procesos de modernización, y el desarrollo económico (Blanckaert et al. 2004). En general, la composición de especies de plantas dentro de los huertos caseros es el resultado de una selección continua en donde la familia usualmente favorece la siembra de árboles frutales de alta productividad (Caballero 1992).

Los resultados de varios estudios indican que los huertos caseros mesoamericanos son altamente diversos, y que deben ser considerados como herramientas importantes para programas de desarrollo y conservación. El Cuadro 2 presenta un resumen de estudios sobre la biodiversidad de plantas en huertos caseros de diferentes regiones de Mesoamérica. El número de especies reportadas por los autores depende del número de huertos incluidos en el estudio, los tipos de especies más estudiadas, el tamaño de los huertos, su importancia para necesidades de subsistencia, y los usos tradicionales de las plantas.

Cuadro 2. Recopilación de estudios sobre la diversidad de plantas de huertos familiares en Mesoamérica.

Ubicación	Clima	Número de huertos estudiados	Número de especies de plantas	Fuente
Valle de Tehuacán-Cuicatlán, estado de Puebla, México	Semi-árido a árido	30	233 (66% ornamental, 30% comestible, 9% medicinal)	Blanckaert et al. 2004
Tixpeual y Tixcacaltuyub, Yucatán, México	Tierra baja, húmedo, tropical	No disponible	301 árboles y arbustos (70% medicinal, 40% apicultura, 30% comestible, 17% leña, 19% construcción, 12% maderable)	Rico-Gray et al. 1991
Bosques tropicales de 9 estados en el S-SE de México	Tierra baja, húmedo, tropical	No disponible	278	Toledo et al. 1995
Comunidad Totonac en Coxquihui, Veracruz, México	Cálido, sub-húmedo, elevación baja	40	223	Del Angel-Pérez y Mendoza, 2004
Zona Maya de Quintana Roo, Yucatán, México	Tierra baja, húmedo, tropical	78	80	De Clerck y Negreros Castillo, 2000
Comunidad Maya de San José, distrito de Toledo, Belice	Tierra baja, húmedo, tropical	18	164	Levasseur y Oliver, 2000
El Camalote, Copán, SO de Honduras cerca de frontera con Guatemala	Húmedo, alpino	10	253 (91 árboles, 42 arbustos, 90 herbáceos, 24 lianas, 2 palmas, 2 hongos)	House y Ochoa, 1998
Nicoya, SO de Costa Rica	Tierra baja, húmedo, tropical, estacional	12	289 (63 variedades)	Lok et al. 1998
Cinco zonas de vida (según Holdridge 1987) de Costa Rica	Sub-húmedo a húmedo tropical	225	236 (sin incluir las ornamentales)	Price, 1989
Este de Costa Rica	Tropical, húmedo	45	133	Price, 1989
Talamanca, S. de Costa Rica	Tropical, húmedo	83	46 especies cultivadas	Zaldívar et al. 2002
Coto Brus, S. de Costa Rica	Tropical, húmedo	55	27 especies cultivadas	Zaldívar et al. 2002
Masaya, Nicaragua	Semi-árido a árido	20	334	Mendez et al. 2001

En una región con tan amplia variedad geográfica, se espera que la diversidad de plantas en los huertos cambie según la latitud, la elevación y la precipitación promedio anual. Sin embargo, estas tendencias no son evidentes en el Cuadro 2, ya que se encuentra una cantidad similar de especies en sitios húmedos y en sitios semi-áridos a áridos. Por ejemplo, dado el clima semi-árido a árido del valle Tehuacán-Cuicatlán, México, se esperaría que los huertos de esta región tuvieran una diversidad relativamente baja. Sin embargo, en este ambiente hay una alta diversidad de especies y usos de plantas en los huertos caseros (Cuadro 2; Blanckaert et al. 2004). Asimismo, en la región del altiplano semiárido del sur de México, los huertos familiares cultivados en localidades cercanas a Celaya, Estado de Guanajuato, son altamente diversos (Terrones Rincón et al. 2011). En esta extensa región semi-árida, de elevaciones de 1.100 a 2.500 msnm, con suelos arcillosos superficiales y secos, y con 300 a 600 mm de precipitación anual, los huertos familiares, o “traspatios,” altamente diversos y productivos contrastan con el paisaje desertificado como consecuencia de la degradación de suelos y la reducción de la biodiversidad.

Una posible explicación para la alta diversidad de plantas observadas en sitios áridos fue avanzada por Price (1989; Cuadro 2), quien encontró que los huertos caseros tenían mayor importancia en regiones de bosque seco tropical en Costa Rica porque las condiciones socioeconómicas eran más difíciles que en otras regiones, por lo cual la población dependía más de sus huertos para la autosubsistencia. Otra posible explicación para la alta diversidad de plantas halladas en sitios áridos podría ser la variación en precipitación a través del año y la presencia de dos estaciones definidas que facilitan la existencia de diversas formas de vida de las plantas en diferentes etapas del año (Figura 2).



Figura 2. Huertos familiares en Atotonilco El Grande, Hidalgo, México. En esta región semiárida se observan especies ornamentales formando linderos, así como numerosas otras especies de plantas comestibles, medicinales y aromáticas cercanas a la casa. Foto: F. Montagnini.

Localmente, la diversidad de plantas en huertos caseros también puede depender del tamaño de los huertos. En Nicoya, Costa Rica, Lok et al. (1998) encontraron que el tamaño de los huertos caseros variaba entre 0,1 y 1,4 ha con un promedio de 0,5 ha (Cuadro 2). Los huertos caseros más pequeños tenían la diversidad más alta, con un promedio de 348 especies por ha. Los huertos caseros más grandes tenían un promedio de 96 especies por ha.

Las plantas dentro del huerto pueden ser categorizadas en tres grupos principales: cultivadas (propagadas o sembradas), protegidas (manejadas por el agricultor) o dejadas (no eliminadas del huerto; Blanckaert et al. 2004). Ya que muchas especies de los huertos son protegidas o cultivadas, el proceso de domesticación de especies útiles ha tomado lugar en ellos por mucho tiempo. En El Camalote, Honduras, las hortalizas tradicionales en los huertos incluyen muchas especies que existen en Guatemala y México pero que no se encuentran en otras partes de Honduras (House y Ochoa 1998). Esto señala la importancia de los huertos caseros como bancos genéticos de cultivos antiguos y como sitios de investigación para nuevas variedades cultivadas. Hay varias especies comestibles de hortalizas y frutas que hoy se encuentran casi exclusivamente en huertos caseros. Así es el caso del chayo (*Cnidioscolus chaymansa*), una verdura popular en El Camalote, pero casi ausente en el resto de Honduras.

Otro ejemplo de domesticación de cultivos es el tempesquistle (*Sideroxylon palmei*) del valle Tehuacán-Cuicatlán en México, que es consumido y comercializado por los Maya (González-Soberanis y Casas 2004). El manejo de esta especie en huertos caseros ha resultado en frutas más grandes y de mejor calidad que las frutas silvestres, lo cual demuestra la importancia de la domesticación de especies de plantas por los dueños de los huertos.

Los huertos caseros pueden tener otros efectos positivos sobre la biodiversidad al servir como refugios locales para plantas y animales que de otro modo estarían amenazados por perturbaciones antropogénicas o naturales. Durante los incendios de 1998 en Petén, Guatemala, los huertos caseros y otros sistemas agroforestales sirvieron como refugio crítico para muchas especies forestales. Atraieron a las aves debido a su estructura compleja, similar a la de parches de bosque intactos, y por los árboles frutales cultivados, que sirvieron como fuentes de alimento para la fauna en un momento de escasez (Griffith 2000). Así, los huertos caseros pueden proveer servicios adicionales como zonas de amortiguamiento para proteger la biodiversidad local en situaciones de estrés.

Los sistemas agroforestales en general, y entre ellos los huertos familiares, cumplen funciones ecológicas en zonas de amortiguamiento y en corredores biológicos. Contribuyen a mantener y restaurar la conectividad funcional del paisaje y la conservación de especies (Francesconi y Montagnini, este volumen). En el Corredor Biológico Paso de la Danta, en el sur de Costa Rica, de un total de 82.000 ha, se estimó la contribución de diez tipos de hábitat a la conservación de especies de pájaros en el corredor. Los barbechos forestales (con 155 especies), los bordes de bosques (154), los huertos familiares (148), y los sistemas agrosilvopastoriles (143) eran los usos de la tierra que albergaban mayor cantidad de especies (Redondo-Brenes y Montagnini 2010). Los huertos familiares y sistemas agrosilvopastoriles sirven como hábitat importante para un 70% de la diversidad de aves de esa región, incluyendo el papagayo rojo (*Ara macao*), especie en peligro de extinción en Costa Rica.

3. RECICLAJE DE NUTRIENTES

3.1 Prácticas tradicionales de los pueblos Maya

La diversidad estructural y de especies son críticas para mantener un reciclaje adecuado de nutrientes. La transferencia de carbono y el uso eficiente del agua y los nutrientes en el suelo son claves para la sostenibilidad ecológica del sistema vegetal. La presión de la población y cambios en otras condiciones socioeconómicas pueden tener una influencia fuerte sobre el manejo de nutrientes y reciclaje, y así afectar la sostenibilidad de los huertos caseros. Actualmente, los Maya han dejado de usar muchas de sus tecnologías que mejoraban la producción, como los canteros elevados y la aplicación de humus. Sin embargo, los huertos caseros “modernos” de los Maya todavía alcanzan altos niveles de producción mediante el uso de otras tecnologías de manejo de residuos y fertilización (Benjamin et al. 2001).

La elección de los momentos de riego, poda, adición de ceniza a los suelos, y compostaje son algunas de las prácticas que pueden aumentar el crecimiento y sobrevivencia de las plantas. En zonas rurales de países centroamericanos lejanos de la cultura Maya, tales como Panamá, se barre y quema la hojarasca de los huertos (Batista 2014). En lugares de Panamá donde no hay recolección de basura por parte del Estado, también existe la costumbre de quemar la basura no-orgánica en los patios, a veces mezclada con la hojarasca, lo cual puede tener impactos negativos sobre la salud (Batista 2014). La barrida y quema de hojarasca en huertos caseros elimina grandes cantidades de nutrientes del sitio, lo cual disminuye la eficacia del reciclaje de nutrientes.

Si la hojarasca no es eliminada, la contribución de nitrógeno puede ser muy alta (Benjamin et al. 2001). Las comunidades Maya de San José, Belice, usan la hojarasca de *Gliricidia sepium*, especie de árbol nativo de Mesoamérica que fija nitrógeno, para fertilizar sus huertos (Levasseur y Oliver 2000). Los Totonac en Coxquihui, Veracruz, México, perciben la pérdida de suelos como la mayor amenaza a sus huertos, y como consecuencia han intentado controlar la erosión al mantener una cobertura continua de follaje, y usar la hojarasca para abono, además de otras prácticas de conservación de suelos (Del Ángel-Pérez y Mendoza 2004).

3.2 Prácticas intensivas actuales de manejo de huertos familiares

El tamaño pequeño de los huertos caseros permite la aplicación de prácticas intensivas de manejo que pueden mejorar el reciclaje de nutrientes y lograr una mayor productividad. Por ejemplo, en Tacuba, El Salvador, los agricultores abren zanjas pequeñas de aproximadamente 30 cm de profundidad y varios metros de largo en sus huertos caseros, perpendicularmente a la dirección de la pendiente, donde colocan desechos del hogar, productos de la poda y otros materiales orgánicos. Esto evita la pérdida de residuos del terreno por la pendiente con las lluvias. El uso de canteros y barreras de contención para disminuir la erosión es práctica común en muchos huertos familiares en Mesoamérica (Figura 3).

El estiércol de los animales menores caseros tiene valor como fuente de nutrientes para el huerto. El efecto puede ser localizado ya que las gallinas y cerdos muchas veces andan libremente en partes del huerto casero. La lombricultura, o la cría de lombrices para usar sus desechos y fertilizar los suelos de huertos caseros, se usa en muchas partes de América Central para aumentar la productividad de huertos de hortalizas y árboles frutales (Figura 4).

Aunque el conocimiento tradicional agrícola existente en muchas regiones de Mesoamérica incluye prácticas de manejo que tienden a mejorar el reciclaje de nutrientes, algunas prácticas pueden ser redirigidas o mejoradas para optimizar la productividad en huertos caseros. Un mejor manejo de la hojarasca y el conocimiento del contenido relativo de nutrientes del follaje de diferentes especies cuando se usa como mantillo o abono puede mejorar el reciclaje de nutrientes y agua y así la producción de huertos caseros. El compostaje de la hojarasca aumenta las cantidades de nutrientes reciclados en el sistema. Una mejor retención del agua, tras agregar material orgánico mediante abono, ayuda a mejorar la disponibilidad de agua para las plantas, lo cual es especialmente importante en huertos caseros ubicados en regiones sub-húmedas y semi-áridas.



Figura 3. Canteros para siembra de vegetales, con zanjas de drenaje, así como con franjas de pasto vetiver *Chrysopogon zizanioides* y pasto limón *Cymbopogon citratus*, en el contorno para control de la erosión en huertos familiares en zona húmeda de laderas en Turrialba, Costa Rica. Foto: F. Montagnini.



Figura 4. En huertos familiares cerca de Turrialba, Costa Rica, se usa la lombricultura (con la lombriz roja de California, *Allophora caliginosa*), para la fertilización de los huertos y para la venta como fertilizante orgánico. Foto: F. Montagnini.

4. IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

4.1 Función en la alimentación familiar

Los huertos familiares pueden aumentar la seguridad alimentaria de varias formas: 1) brindando acceso directo a una diversidad de alimentos nutritivos, 2) proveyendo un aumento en el poder adquisitivo por los ahorros en gastos de alimentos, así como por los ingresos de la venta de productos del huerto, y 3) suministrando alimentos durante periodos de escasez temporal. Los huertos caseros pueden proveer alimentos básicos cuando son de un tamaño que permita sembrar cantidades suficientes de tubérculos o cereales (Eibl et al. 2000, Wezel y Bender 2003). En este aspecto, los huertos caseros cumplen una función social muy importante, en regiones donde coexisten la pobreza y la malnutrición.

Por ejemplo, en la comunidad Maya de San José, Belice, los sistemas agroforestales tradicionales, incluyendo la milpa, el cacao (*Theobroma cacao*) cultivado bajo sombra, y los huertos familiares satisfacen casi todas las necesidades familiares de alimentos y leña, y generaron un 62% de los ingresos familiares (Levasseur y Oliver 2000). Asimismo, en el altiplano semiárido de México, se ha estimado que la producción que puede ser obtenida por los huertos familiares en el área sería equivalente a los subsidios otorgados por el gobierno para cultivos básicos en condiciones de regadío (Terrones Rincón et al. 2011).

Los huertos caseros pueden suplir a la familia con alimentos durante todo el año (Budowski 1990, Lok 1998, Eibl et al. 2000). Su objetivo principal no es optimizar la producción, como podría ser el caso en el resto de la finca, sino garantizar un suministro mínimo de diferentes alimentos en todas las épocas del año, y así funcionar como un amortiguador en tiempos de ingreso bajo y escasez de comida. Muchas veces, productos de alto valor de los huertos pueden ser vendidos para comprar alimentos básicos durante periodos de escasez.

Las plantas medicinales que se incluyen en el huerto casero pueden proveer remedios que ahorran fondos familiares, al evitar la compra de medicamentos. Una encuesta en Pedasí, Panamá, reveló que las familias cultivan por lo menos 32 especies de plantas medicinales en huertos caseros, entre éstos la salvia (*Pluchea carlinensis* [Jacq.]), el mastranto (*Lippia alba* Mill.), la sábila (*Aloe vera* [L.] Burm.f.) y la hierba buena (*Mentha citrata*; Alfaro 2009, López Campos 2013). Un 95% de los encuestados cultivan plantas para uso medicinal en sus hogares (López Campos 2013). En regiones rurales de Guatemala, sin acceso fácil a medicamentos comerciales, 26-33% de las especies cultivadas en los huertos son plantas medicinales (Azurdia y Leiva 2004).

La importancia de los huertos caseros para la seguridad alimentaria familiar aumenta en las situaciones de aislamiento y pobreza más extremas. En Nicaragua, uno de los países más pobres de América Central, Méndez et al. (2001) encontraron que las familias obtenían un mínimo de 40 productos diferentes de plantas de sus huertos caseros (Cuadro 2), además de la ventaja de tener espacio para trabajar en artesanías (una fuente principal de ingreso) y como sitio para socializar.

Aunque los programas de previsión social de Costa Rica están entre los mejores de Mesoamérica, la pobreza rural y la malnutrición persisten en ciertas zonas urbanas y rurales. Grupos indígenas como los de Chibcan (Bribris, Cabecares, y Guaymís) que viven en las reservas en Talamanca y Coto Brus mantienen campos de policultivos o huertos caseros altamente diversos adyacentes a sus hogares (Zaldivar et al. 2002; Cuadro 2). En otras regiones de Costa Rica, los huertos caseros también son importantes para producir alimentos y servir como amortiguamiento en épocas de falta de cosechas o depresión económica (Price 1989).

Con frecuencia, los excedentes de productos de los huertos son regalados a parientes que trabajan en zonas urbanas, y así se fortalece la seguridad alimentaria en zonas urbanas y rurales. En Panamá, es común que los habitantes de zonas rurales que visitan a sus parientes en áreas urbanas traigan productos de sus huertos como regalo, mientras que los habitantes de zonas urbanas que visitan familiares en áreas rurales llevan productos procesados, poco accesibles en zonas rurales (Batista 2014).

En la provincia de Chiriquí, Panamá, Lok y Samaniego (1998) encontraron que entre las poblaciones indígenas Ngöbe (o Guaymí), el huerto casero era el sistema que producía el mayor ingreso y número de productos comestibles para consumo familiar, cuando se comparaba con otras actividades agrícolas. De una finca de tamaño promedio de 6,7 ha, aproximadamente 0,5 ha se dedicaba a huertos caseros. Los Ngöbe producen cultivos anuales de alimentos en parcelas donde también cultivan árboles resistentes al fuego. Estas parcelas satisfacen las necesidades básicas de alimento de la familia (arroz, maíz y frijoles) durante la mayor parte del año. En sus huertos, cultivan aproximadamente 100 especies de plantas, de las cuales 75 son especies leñosas (árboles, arbustos y palmas). Entre las especies leñosas, la mayoría son árboles frutales, incluyendo naranjos, guayabos, aguacates, y cocoteros. Las frutas se cosechan para consumo familiar, y muchas veces son la única fuente de alimento en épocas de escasez. Aproximadamente 80% de los terrenos habitados por los Ngöbe son de baja productividad y no son apropiados para la producción comercial, de manera que los huertos caseros son una alternativa exitosa para compensar sus limitaciones de uso de suelos y/o aliviar la escasez de alimento.

4.2 Animales domésticos en los huertos familiares

Diversos tipos de animales domésticos se observan con frecuencia en los huertos caseros de Mesoamérica. Por ejemplo, en la comunidad Maya de San José, Belice, se encontraron aves domésticas y cerdos en aproximadamente 80% de hogares (Levasseur y Olivier 2000). En los huertos caseros de los Totonac en Veracruz, México, los cerdos, aves domésticas y ganado menor también eran comunes (Del Ángel-Pérez y Mendoza 2004). Igualmente, en un estudio de 80 huertos caseros ubicados en las regiones secas y húmedas de Costa Rica, Nicaragua, y Honduras, Wieman y Leal (1998) encontraron gallinas en 79% de los huertos caseros, cerdos en 49% y patos en 10% de los hogares. Otros animales como ovejas, cabras y vacas muchas veces se mantienen atados a la orilla de las carreteras para pastar, y a veces permanecen en pequeños corrales, al lado de la casa (Figura 5).



Figura 5. En la mayoría de los huertos familiares en Mesoamérica las cabras, ovejas y otros animales mayores están en corrales o atados cerca de los caminos. En este huerto familiar cercano a Turrialba, Costa Rica, se alimenta a las cabras con forraje cortado o molido de árboles cultivados en la finca, tales como la *Erythrina berteroana*. Foto: F. Montagnini.

En los huertos familiares, los animales pequeños representan una fuente de producción de proteína a bajo costo, especialmente para hogares de escaso ingreso (Wieman y Leal 1998). Varios animales pequeños, tales como gallinas, patos y conejos también suplen vitaminas del complejo B, y minerales como hierro, calcio y fósforo. El tamaño pequeño de estos animales hace que su cría y manejo, preparación de su carne, y venta en mercados locales sea relativamente fácil. Otra ventaja es que estos animales producen todo el año, en contraste con los frutales y vegetales cuya producción es generalmente estacional (Del Ángel-Pérez y Mendoza 2004).

Las gallinas son particularmente importantes en los huertos de países en desarrollo porque generan ingresos en efectivo con la producción de huevos, carne y abono. En Panamá, los huevos y la carne de gallina se consideran pequeños ahorros que pueden utilizarse cuando surgen gastos inesperados (Heckadon-Moreno 2009). Contribuyen al reciclaje de desechos en el hogar y al control biológico de plagas, al consumir insectos y larvas. En los huertos de Totonac en Veracruz, México, las gallinas andaban libres en aproximadamente la mitad de los huertos bajo estudio, aunque muchas veces se las encerraba durante la noche (Del Ángel-Pérez y Mendoza 2004). Las familias en América Central consumen mucha carne de pollo y huevos. En Panamá, las gallinas históricamente han sido una de las principales fuentes de proteína en la dieta de las familias rurales (Heckadon-Moreno 2009).

De manera parecida, la cría de cerdos y vacas también es practicada en muchos huertos caseros en toda América Latina. Los cerdos son fuente importante de carne, y su producción coincide muchas veces con festividades u ocasiones especiales. Por ejemplo, Wieman y Leal (1998) encontraron un promedio de siete cerdos en los huertos caseros de mayor tamaño estudiados en Limón, Costa Rica, y en Paraíso, Honduras. El ganado vacuno criado en casa tiene una prioridad alta para los agricultores por su buen valor monetario en el mercado.

En general, se usan razas locales de animales con alta resistencia a plagas y enfermedades, pero su cría en el huerto es una práctica secundaria al cultivo de plantas (Lok y Samaniego 1998). Cuando los animales domésticos interfieren con el cultivo de las plantas, se los encierra o se les ata. Esto se hace especialmente durante periodos críticos del año para los cultivos del huerto como, por ejemplo, justo después de una siembra o en épocas de cosecha (Batista 2014). En Totonac, Veracruz, en viveros de plantas ornamentales no se criaban cerdos por el daño potencial a las plantas del vivero (Del Ángel-Pérez y Mendoza 2004). En huertos frutales dominados por árboles, los cerdos y las gallinas andan libres, lo cual suiere que los agricultores ignoran la vegetación del sotobosque, mientras que muchas veces los lotes urbanos tienen animales en jaulas o encercados para proteger plantas ornamentales, medicinales, aromáticas, o rituales.

4.3 Promoción de huertos familiares en proyectos de seguridad alimentaria y desarrollo

Los huertos caseros han sido usados por mucho tiempo como una herramienta para promover la seguridad alimentaria familiar en muchas regiones del mundo. En varios países de Mesoamérica, los huertos caseros se cultivan y manejan como parte de esfuerzos de desarrollo comunitario. Además, los huertos familiares pueden producir mayores ingresos que otros usos de la tierra en una región, por ejemplo en el centro de México el ingreso promedio por m² fue casi 13 veces mayor en los huertos que en parcelas de arroz bajo riego; en el oeste de Java, el ingreso anual de huertos con estanques de peces fue 2-2,5 veces mayor que en campos de arroz, y en áreas turísticas con la venta de ornamentales fue 20 veces mayor que los arrozales (Montagnini et al. 1992). El ingreso de los huertos familiares aumenta substancialmente cuando se producen excedentes como en el caso de pequeños viveros de especies frutales u ornamentales.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) ha producido materiales para promover el cultivo de huertos caseros para la seguridad alimentaria en Nicaragua, El Salvador y Honduras (FAO 2001). La FAO ha declarado el 2014 como el Año Internacional de la Agricultura Familiar (AIAF) para poner de relieve su enorme potencial para erradicar el hambre y conservar los recursos naturales. Según la FAO, tanto en los países desarrollados como en los en desarrollo, más de 500 millones de explotaciones familiares producen alimentos que nutren a miles de millones de personas. En muchos países en desarrollo las granjas familiares representan en promedio un 80% de todas las explotaciones agrícolas.

En Nicaragua, el Plan Alimentario Nacional (PAN), subsidiado por el Estado con ayuda internacional y apoyo logístico y técnico de ONG, ha distribuido semillas y herramientas de trabajo a familias necesitadas, para promover los huertos caseros como una manera de garantizar un nivel básico de seguridad alimentaria familiar en gran parte de las áreas rurales y semi-áridas del país (Castillo 2002). El Cuerpo de Paz estadounidense estableció el Programa de Seguridad Alimentaria después del huracán Mitch, en 1998, mientras que otras organizaciones, como la Cruz Roja, integraron los huertos caseros en programas más amplios desarrollados para abordar las necesidades después del huracán Mitch, como parte de sus esfuerzos de mitigación de desastres naturales (Craven 2005). En Diriamba, los huertos caseros comunitarios forman parte de un programa de desarrollo más amplio, el Programa Socioambiental y de Desarrollo Forestal (POSAF), financiado por el Banco Mundial (Piotto et al. 2004).

Una promoción similar de huertos caseros para aliviar la pobreza y asegurar una fuente de comida básica en áreas rurales y urbanas está en marcha en Panamá y en El Salvador, también apoyada por ONG locales y ayuda internacional. Programas sin fines de lucro, que distribuyen semillas para huertos familiares muchas veces promueven que los participantes recolecten sus propias semillas a medida que van cosechando, así contribuyen a la sostenibilidad de los programas y a la futura seguridad alimentaria de la zona (Batista 2014).

En Panamá, el Programa de Ayuda Nacional impulsa el establecimiento de huertos familiares con herramientas, semillas, insumos, y pollos (PAN 2011). En El Salvador y Nicaragua, los huertos caseros son componentes de esfuerzos de desarrollo comunitario en cooperativas de café. Estos son apoyados por ONG locales cuyos objetivos incluyen desarrollo rural y conservación de biodiversidad (Méndez y Bacon 2005).

CONCLUSIONES

Los huertos familiares o caseros mesoamericanos tienen una gran diversidad, con una estructura vertical y horizontal compleja, que incluye plantas comestibles, medicinales, ornamentales, y para otros propósitos. Su compleja estructura los hace reservorios importantes de biodiversidad local y juegan un rol considerable en la domesticación de especies útiles. Las prácticas de manejo de huertos caseros en Mesoamérica mejoran la eficiencia de la captura de radiación solar, aumentan la productividad, y hacen uso eficiente del reciclaje de nutrientes. El material orgánico de los suelos en huertos caseros aumenta mediante el manejo de residuos, incluido el compostaje de hojarasca y el uso de estiércol de animales domésticos.

Mesoamérica fue el hogar de la antigua civilización Maya, cuyos descendientes todavía practican formas de agricultura tradicional y manejan huertos caseros. Los huertos caseros han cumplido tradicionalmente y todavía cumplen una función importante en términos de aumentar la seguridad alimentaria en una región que sufre de problemas sociales y ambientales debido a la sobrepoblación y la pobreza rural. Aunque existen diferencias regionales basadas en la composición, estructura, y manejo de los huertos, éstos son caracterizados por servir como subsidios económicos al hogar. Estos servicios son particularmente valiosos en los lugares más remotos, tales como reservas indígenas y en otras situaciones rurales en la región. Es importante que se retenga el conocimiento de las prácticas de manejo para asegurar la sostenibilidad de los huertos caseros.

Agradecimientos

Parte del material contenido en este capítulo se encuentra en: Montagnini, F. 2006. Homegardens of Mesoamerica: Biodiversity, food security, and nutrient management Pp. 61-84 *In*: Kumar, BM; Nair, PKR. (Eds.). Tropical Homegardens: A Time-Tested Example of Sustainable Agroforestry. Advances in Agroforestry 3. Dordrecht, The Netherlands, Springer. 379 p.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, O. 2009. Plantas medicinales colectadas en Panamá (en línea). Panamá, Departamento de Ediciones y Publicaciones, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). 24 p. Disponible *En*: <http://www.cich.org/publicaciones/IDIAP-2009-Plantas-medicinales-colectadas-en-Panama.pdf>
- Atran, S. 1993. Itza Maya tropical agro-forestry. *Current Anthropology* 34(5):633-700.
- Atran, S; Medin, D; Ross, N.; Lynch, E; Coley, J; Ucan Ek', E; Vapnarsky, V. 2005. Folk ecology and commons management in Maya lowlands. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 96(13):7598-7603.
- Azurdía, C; Leiva, JM. 2004. Home-Garden Biodiversity in Two Contrasting Regions of Guatemala. Pp. 168-184 *In*: Eyzaguirre, PB; Linares, OF. (Eds.). *Home Gardens and Agrobiodiversity*. Washington, D.C., USA, Smithsonian Books. 296 p.
- Barrera, A; Gómez-Pompa, A; Vázquez-Yanes, C. 1977. El manejo de las selvas por los Mayas: sus implicaciones silvícolas y agrícolas. *Biotica* 2(2):47-61.
- Batista, J. Proyecto Ecológico Azuero. Entrevista personal. Pedasí, Los Santos, Panamá. 8 ene. 2014.
- Beach, T; Dunning, NP. 1995. Ancient Maya terracing and modern conservation in the Peten rain forest of Guatemala. *Journal of Soil and Water Conservation* 50(2):138-145.
- Benjamin, TJ; Montañez, PI; Jiménez, JJM; Gillespie, AR. 2001. Carbon, water and nutrient flux in Maya homegardens in the Yucatán Península of Mexico. *Agroforestry Systems* 53:103-11.
- Blanckaert, I; Swennen, RL; Paredes Flores, M; Rosas López, R; Lira Saade, R. 2004. Floristic composition, plant uses and management practices in homegardens of San Rafael Coxcatlán, Valley of Tehuacán, Mexico. *Journal of Arid Environments* 57:39-62.
- Budowski, G. 1990. Home gardens in Tropical America: a review. Pp. 3-8 *In*: Landauer, K; Brazil, M. (Eds.). *Tropical home gardens*. Tokyo, Japan, United Nations University.
- Caballero, J. 1992. Maya homegardens: past, present and future. *Ethnoecológica* 1(1):35-54.
- Casas, A; Valiente-Baunet, A; Viveros, JL; Dávila, P, Lira, R; Caballero, J; Cortés, L; Rodríguez, I. 2001. Plant resources of the Tehuacán Valley, Mexico. *Economic Botany* 55(1):129-166.
- Castillo, MR. 2002. Vasto plan alimentario (en línea). Managua, Nicaragua, El Nuevo Diario. Disponible *En*: <http://archivo.elnuevodiario.com.ni/2002/abril/03-abril-2002/departamentos/departamentos1.html>
- CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo). 2003. Estado del Sistema Centroamericano de Areas Protegidas: informe de síntesis regional. San José, Costa Rica, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. 33 p.
- Craven, D. Universidad de Yale. Entrevista personal. oct. 2005.
- De Clerck, FAJ; Negreros-Castillo, P. 2000. Plant species of traditional homegardens of Mexico as analogs for multistrata agroforests. *Agroforestry Systems* 48:303-317.

- De Las Salas, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 479 p.
- Del Angel-Pérez, AL; Mendoza, MA. 2004. Totonac homegardens and natural resources in Veracruz, Mexico. *Agricultural and Human Values* 21(4):329-346.
- Dommergues, YR. 1987. The role of biological nitrogen fixation in agroforestry. Pp. 245-272. In: Steppeler, HA; Nair, PKR. (Eds.). *Agroforestry: A decade of development*. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- Eibl, B; Fernández, R; Kozarik, JC; Lupi, A; Montagnini, F; Nozzi, D. 2000. Agroforestry systems with *Ilex paraguariensis* (American Holly or yerba mate) and native timber trees on small farms in Misiones, Argentina. *Agroforestry Systems* 48:1-8.
- FAO. 2001. Improving nutrition through home gardening. A training package for preparing field workers in Southeast Asia. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 171 p.
- Fedick, SL; Morrison, BA. 2004. Ancient use and manipulation of landscape in the Yalahau region of the northern Maya lowlands. *Agriculture and Human Values* 21(2-3):207-219.
- Francesconi, W; Montagnini, F. Los SAF como estrategia para la conectividad funcional del paisaje fragmentado. Este volumen.
- Gillespie, AR; Knudson, DM; Geilfus, F. 1993. The structure of four home gardens in the Petén, Guatemala. *Agroforestry Systems* 24(2):157-170.
- González-Soberanis, C; Casas, A. 2004. Traditional management and domestication of tempequistle, *Sideroxylon palmeri* (Sapotaceae) in the Tehuacan-Cuicatlán Valley, Central México. *Journal of Arid Environments* 59:245-258.
- Griffith, DM. 2000. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity after fire. *Conservation Biology* 14:325-326.
- Guindon, C. 1996. The importance of forest fragments to the maintenance of regional biodiversity in Costa Rica. Pp. 168-186. In: Schelhas, J; Greenberg, R. (Eds.). *Forest patches in tropical landscapes*. Washington D.C., USA, Island Press. 498 p.
- Harvey, CA; Haber, WH. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44:37-68.
- Harvey, C; Alpizar, F; Chacón, M; Madrigal, R. 2005. Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America, Historical overview and future perspectives, Mesoamerican and Caribbean region. San José, Costa Rica, Conservation Science Program, The Nature Conservancy. 138 p.
- Heckadon-Moreno, S. 2009. De Selvas a Potrereros - La Colonización Santeña en Panamá: 1850-1980. Ciudad de Panamá, Panamá, Excedra Books. 300 p.
- Holdridge, LR. 1987. Ecología basada en Zonas de Vida. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 216 p.

- House, PH; Ochoa, L. 1998. La diversidad de especies útiles en diez huertos en la aldea de Camalote, Honduras. Pp. 61-84 *En*: Lok, R. (Ed.). Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque multidisciplinario. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 234 p.
- Levasseur, V; Olivier, A. 2000. The farming system and traditional agroforestry systems in the Maya community of San Jose, Belize. *Agroforestry Systems* 49(3):275-288.
- Lok, R. 1998. El huerto casero tropical tradicional en América Central. Pp. 7-28 *En*: Lok, R. (Ed.). Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque multidisciplinario. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 234 p.
- Lok, R; Samaniego, G. 1998. La valorización sociocultural del huerto y del café con árboles entre la población Ngöbe de Chiriquí, Panamá. Pp. 185-213 *En*: Lok, R. (Ed.). Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque multidisciplinario. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 234 p.
- Lok, R; Wieman, A; Kass, D. 1998. Influencia de las características del sitio y el acceso al agua en huertos de la Península de Nicoya, Costa Rica. Pp. 29-59. *En*: Lok, R. (Ed.). Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque multidisciplinario. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 234 p.
- López Campos, M; Hidalgo, J; Moreno, L; Pérez, A. 2013. Estudio etnobotánico enfocado a las plantas medicinales de la comunidad de Pedasí, provincia de Los Santos, Republica de Panamá. Pedasí, Los Santos, Panamá, Instituto Plinio Antonio Moscoso. 43 p.
- Méndez, VE; Lok, R; Somarriba, E. 2001. Interdisciplinary analysis of homegardens in Nicaragua: micro-zonation, plant use and socioeconomic importance. *Agroforestry Systems* 51:85-96.
- Méndez, VE; Bacon, C. 2005. Medios de vida y conservación de la biodiversidad arbórea: las experiencias de las cooperativas cafetaleras en El Salvador y Nicaragua. *LEISA Revista de Agroecología*, abril 2005, p. 27-29.
- Metzel, R. 2010. From Finca to Forest: Forest Cover Change and Land Use Management in Los Santos, Panama. Tesis Lic. Princeton, New Jersey, USA, Princeton University. 117 p.
- Montagnini, F. et al. 1992. *Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos*. 2da. ed. San José, Costa Rica (en línea). Organización para Estudios Tropicales (OTS). 622 p. Disponible *En*: <http://www.ots.ac.cr/images/downloads/information-resources/library/sistemas-agroforestales.pdf>
- Myers, N; Mittermeier, RA; Mittermeier, CG; da Fonseca, GAB; Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- NAS (National Academy of Sciences). 1979. *Tropical Legumes: Resources for the Future*. Washington, D.C., Board of Science and Technology for International Development, National Research Council. 332 p.
- NAS. 1980. *Firewood Crops, Shrubs and Tree Species for Energy Production*. Washington, D.C., USA, Board of Science and Technology for International Development, National Research Council. 236 p.
- Noble, IR; Dirzo, R. 1997. Forests as human-dominated ecosystems. *Science* 277:522-525.
- Piotto, D; Montagnini, F; Kanninen, M; Ugalde, L; Viquez, E. 2004. Forest plantations in Costa Rica and Nicaragua: performance of species and preferences of farmers. *Journal of Sustainable Forestry* 18(4):59-77.

- Price, NW. 1989. The tropical mixed garden in Costa Rica. Tesis PhD. British Columbia, Canada, University of British Columbia.
- PAN (Programa de Ayuda Nacional). 2011. 140 huertos familiares para comunidades rurales de Co-clé (en línea). Disponible En: http://www.pan.gob.pa/pan/ver_nodo.php?cod=225
- Redondo Brenes, A; Montagnini, F. 2010. Contribution of homegardens, silvopastoral systems, and other human-dominated land-use types to the avian diversity of a biological corridor in Costa Rica. Pp.185-224 In: Kellimore, LR. (Ed.). Handbook on Agroforestry: Management Practices and Environmental Impact. New York, USA, Nova Science Publishers. 507 p.
- Richards, PW. 1996. The Tropical Rainforest: An Ecological Study. 2nd Edition. London, UK, Cambridge University Press. 450 p.
- Rico-Gray, V; Chemas, A; Mandujano, S. 1991. Uses of tropical deciduous forest species by the Yucatecan Maya. *Agroforestry Systems* 14(2):149-161.
- Sánchez, PA. 1976. Properties and management of soils in the tropics. New York, USA, John Wiley and Sons. 618 p.
- Santana, MR; Navarrete Gutiérrez, DA; Mateo Sánchez, JJ. Riqueza de especies en huertos caseros de tres municipios de la Región Otomí Tepehua, Hidalgo, México. Este volumen.
- Steinberg, MK. 1998. Political ecology and cultural change: impacts on swidden-fallow agroforestry practices among the Mopan Maya in southern Belize. *Professional Geographer* 50(4):407-417.
- Terrones Rincón, T. del RL; Hernández Martínez, MA; Ríos Ruiz, SA; Martínez Ayala, C. 2011. Non-wood products from native multipurpose trees from agroforestry homegardens in the semiarid Mexican Plateau. Pp. 85-97 In: Montagnini, F; Francesconi, W; Rossi, E. (Eds.). *Agroforestry as a tool for landscape restoration*. New York, USA, Nova Science Publishers. 201 p.
- Toledo, VM; Batis, AI; Becerra, R; Martínez, E; Ramos, CH. 1995. The useful forest: Quantitative ethnobotany of the indigenous groups of the humid tropics of Mexico. *Interciencia* 20(4):177-187.
- Turner II, BL; Harrison, PD. 1981. Prehistoric raised-field agriculture in the Maya lowlands. *Science* 213:399-405.
- Wezel, A; Bender, S. 2003. Plant species diversity of homegardens of Cuba and its significance for household food supply. *Agroforestry Systems* 57:39-49.
- Wieman A; Leal, D. 1998. La cría de animales menores en los huertos caseros. En: Lok R. (ed.). *Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque multidisciplinario*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, p. 85-115.
- Zaldivar, ME; Rocha, OJ; Castro, E; Barrantes, R. 2002. Species diversity of edible plants grown in homegardens of Chibchan Amerindians from Costa Rica. *Human Ecology* 30(3):301-316.



Capítulo 19

RIQUEZA DE ESPECIES EN HUERTOS CASEROS DE TRES MUNICIPIOS DE LA REGIÓN OTOMÍ TEPEHUA, HIDALGO, MÉXICO

María Raimunda Araújo Santana¹, Darío Alejandro Navarrete Gutiérrez², y José Justo Mateo Sánchez¹

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México. Teléfono: 0052 (775)7533495.

Correo electrónico: raybr23@gmail.com

² El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México

RESUMEN

Los huertos caseros proveen una variedad de productos que cubren gran parte de las necesidades de alimento de muchas comunidades rurales del Estado de Hidalgo, México. En este estudio se analizó la composición, riqueza de especies e importancia de los huertos caseros de tres municipios de la región Otomí Tepehua, mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas a 36 jefes de familia y recorridos en los huertos. Los resultados mostraron que las áreas destinadas a los huertos varían entre 100 a 400 m² y dependen del régimen de tenencia de la tierra de cada localidad. Se registraron un total de 93 especies, 82 géneros y 47 familias, con usos medicinales, comestibles y maderables. El mayor número de especies registradas fue para las familias Rutaceae, Asteraceae y Fabaceae. Se encontró una predominancia en el cultivo de plantas medicinales, sobre todo en el municipio de Huehuetla. Los huertos caseros tienen gran potencial para contribuir a la seguridad alimentaria familiar, la generación de ingreso y la permanencia de la cultura de la región.



406

Aspecto de un huerto familiar de la comunidad Pie del Cierro, municipio de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo.
Foto: R. Santana.



1. INTRODUCCIÓN

A nivel global, los huertos caseros han sido fundamentales para el sustento de una gran parte de la población mundial, debido a que proporcionan una variedad de productos que aportan a la seguridad alimentaria y a los ingresos familiares. Además, los huertos familiares o huertos caseros suelen tener un rol cultural clave (GTZ 2008, Montagnini y Metzel, este volumen). La Cumbre Mundial sobre la Alimentación (CMA) define que la seguridad alimentaria individual, familiar, nacional y mundial se obtiene cuando las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a alimento seguro y nutritivo para satisfacer sus necesidades alimentarias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y saludable (FAO 2012).

Los huertos caseros se definen como sistemas integrados de producción de alimentos para el autoconsumo, los cuales contribuyen a mejorar la seguridad alimentaria y la economía de las familias campesinas de bajos recursos (Rodríguez et al. 2006). Estos sistemas tienen una tradición establecida y ofrecen muchas posibilidades para mejorar la seguridad alimentaria de las familias y reducir las deficiencias nutricionales. Una de las formas de garantizar el acceso a una alimentación saludable, que contenga macro y micronutrientes apropiados consiste en producir muchos tipos distintos de alimentos en el mismo espacio.

Para el período 2003-2005, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reportó que 848 millones de personas en el mundo padecían hambre crónica. El 65% de las personas que padecían subnutrición vivían en países del continente asiático y africano. En contraste, los países de Sudamérica (Argentina, Chile, Guyana, Perú y Uruguay) apoyados por niveles relativamente elevados de renta nacional, un crecimiento económico sólido y un fuerte aumento de la productividad en sus sectores agrícolas, son los que han alcanzado el objetivo de la CMA y la meta de los Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM; FAO 2008).

En la reunión sobre seguridad alimentaria de la CMA en 1996, a la que asistieron 185 países, además de los pertenecientes a la Comunidad Europea, se hizo especial hincapié en la “erradicación del hambre de los países, con el propósito inmediato de reducir el número de personas desnutridas a la mitad de su nivel actual para el año 2015” (FAO 1998). Con esta premisa, en 2002 el Gobierno de México e instituciones internacionales como la FAO crearon el Programa Estratégico para la Seguridad Alimentaria (PESA), adaptado a la realidad del país, con el objetivo de reducir la pobreza en las poblaciones de las 250 microrregiones mexicanas de más alta marginación (FAO 2012).

A partir del 2008, el PESA comienza sus actividades en el estado de Hidalgo, situado en la parte centro de México, con una población total de 2.665.018 habitantes (INEGI 2010) y que de acuerdo con el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), se encuentra por debajo de los umbrales de pobreza alimentaria, de capacidades y patrimonial. Para el año 2008, el CONEVAL estimó que el umbral de pobreza alimentaria, equivalente a 706,69 pesos mexicanos mensuales por persona, permitía a las familias de zonas rurales satisfacer sólo sus necesidades básicas de alimentación. El umbral de pobreza de capacidades, equivalente a 835,52 pesos por persona permitía satisfacer ciertas necesidades de salud y educación, mientras que el umbral de pobreza de patrimonio de 1.282,36 pesos mensuales por personas hacía posible satisfacer las necesidades básicas, incluyendo las de vivienda y vestuario (CONEVAL 2008). En el estado de Hidalgo, se estima que más de 600 mil hidalguenses padecen hambre, 300 mil adultos no saben leer ni escribir y más de 100 mil niños en edad escolar no asisten a la escuela. El 26 % de la población hidalguense vive en situación de “pobreza alimentaria” que consiste en la incapacidad de obtener una canasta básica alimentaria, aún si se hiciera uso de todo el ingreso disponible en el hogar para comprar sólo los bienes de esta canasta (Vargas 2011).

El área de estudio, conocida como la región Otomí Tepehua, es una de las zonas del estado de Hidalgo donde se concentran las condiciones de pobreza, marginación, emigración y alta presencia de población indígena (Vargas 2011). Estudios recientes revelan que los pobladores aprovechan una gran cantidad de plantas útiles de la región, y que a pesar del incremento de las investigaciones al respecto (Villavicencio y Pérez 2005, Callejas 2006, Ortiz 2007), la información sobre los huertos caseros es escasa.

El objetivo del presente estudio fue analizar la composición, riqueza e importancia de los huertos caseros de tres municipios de la región Otomí Tepehua, del estado de Hidalgo, mediante recorridos y entrevistas semiestructuradas. Este trabajo forma parte de una investigación más amplia, cuyo objetivo general es analizar la contribución socioeconómica y cultural de los huertos a los pobladores de los municipios de la región Otomí Tepehua, Hidalgo.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción del área de estudio

La región Otomí Tepehua se localiza al este del estado de Hidalgo, México y cuenta con una superficie total de 1.258,43 km² lo cual representa el 6,18% de la superficie estatal (20.959,12 km²; INEGI 2008). Se encuentra entre las coordenadas 98°28'24" y 97°59'01" de longitud oeste y entre 20°04'18" y 20°40'35" de latitud norte y a una altitud de 520 msnm. La región está conformada por seis municipios (Figura 1) representados por San Bartolo Tutotepec (357,57 km²); Acaxochitlán (238,87 km²); Huehuetla (212,87 km²); Tenango de Doria (176,57 km²); Metepec (146,23 km²) y Agua Blanca de Iturbide (126,98 km²).

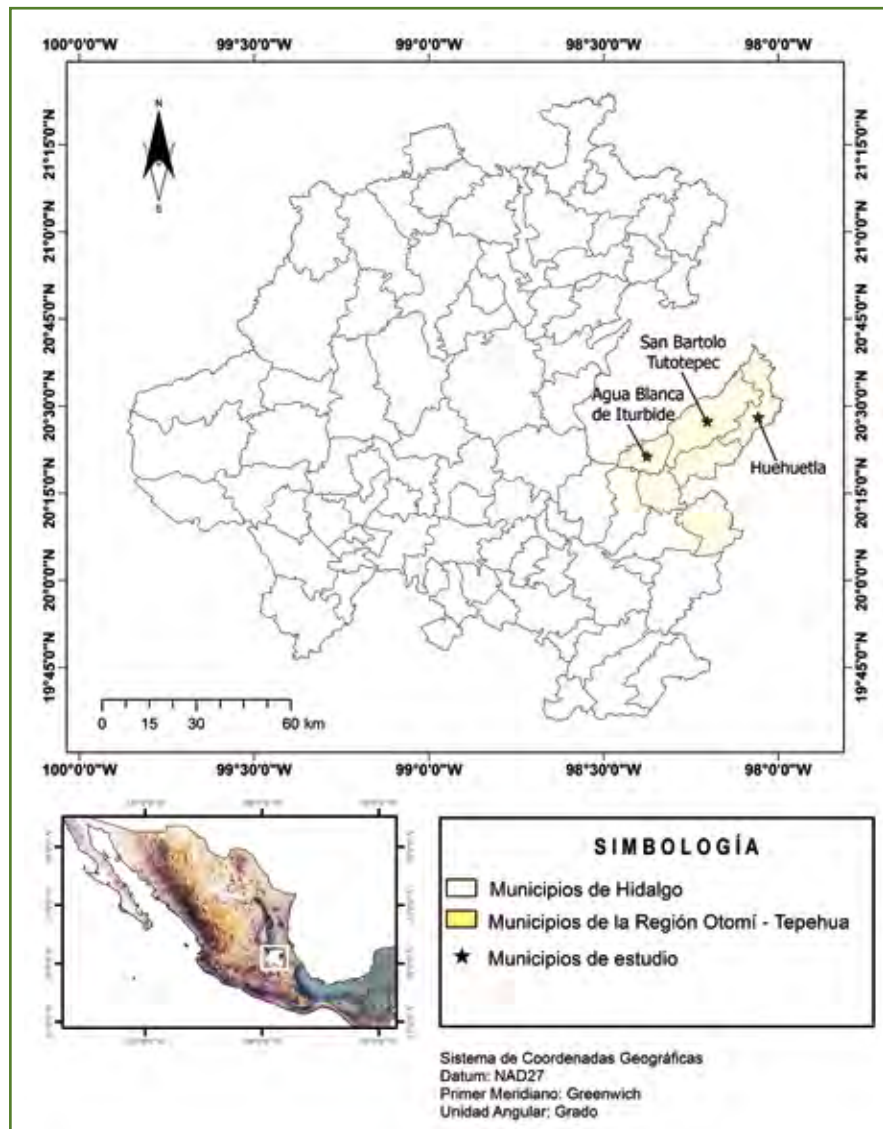


Figura 1. Ubicación de la región Otomí Tepehua, en el estado de Hidalgo, México y municipios que se consideraron en el presente trabajo.

Esta región posee un gradiente climático diverso, que corresponde a climas templados húmedos C (m), C (f) y sub húmedos C (w2) en el municipio de Agua Blanca de Iturbide y climas subtropicales, del tipo cálido húmedo, Am(f) semicálido húmedo con lluvias todo el año (A)C(fm)(w), y semicálido húmedo del grupo C y lluvias en verano (A)C(m)(f), en los municipios de Huehuetla y San Bartolo Tutotepec. La temperatura media anual varía entre un promedio de 13-25°C y la precipitación pluvial va de los 500 mm hasta los 2.422 mm en algunas zonas (INEGI 2008).

La población de la región está integrada por 116.616 habitantes, con un 51% de hombres y 49% de mujeres. El 70% de la población total se concentra en los municipios de Huehuetla, San Bartolo y Tenango de Doria. La actividad productiva principal es la agropecuaria, sin embargo la producción de huertos caseros ha sido pilar fundamental en la subsistencia de las familias (INEGI 2010, Vargas 2011).

2.2 Recolección de datos y análisis de los resultados

Se realizaron entrevistas a 36 familias, pertenecientes a siete comunidades: San Pedrito, Ejido Milpa Vieja y Cerro Alto situadas en el municipio Agua Blanca de Iturbide; Cantarranas, Dos Caminos y Santa Úrsula, localizadas en Huehuetla y Pie del Cerro, del municipio de San Bartolo Tutotepec. La investigación se realizó durante los meses de mayo a julio del 2013, mediante aplicación de entrevistas semiestructuradas y recorridos en los huertos. Con base en un cuestionario, se indagó principalmente sobre el tamaño de los huertos, los nombres comunes, las formas de uso, las partes usadas de las plantas, los tipos de animales que crían, así como las formas de manejo y la importancia de los huertos para las familias. Con la información recopilada se estructuró una base de datos en MSAccess.

En el análisis de los resultados, se anotó la presencia de cada especie en cada uno de los huertos visitados. De esta manera, se obtuvo el número de familias, géneros y especies presentes en los huertos y se clasificaron en especies forestales, medicinales o frutales. Se obtuvo la proporción de huertos que contenía cada especie y se registró la frecuencia o incidencia de la especie en cada comunidad. Por último, la taxonomía de las especies se basó en la bibliografía disponible para la zona de estudio (Rzendowski 1983, Villavicencio y Pérez 2005, Callejas 2006, Ortiz 2007).

3. RESULTADOS

3.1 Características de los huertos caseros

3.1.1 Tamaño de los huertos

En los tres municipios estudiados, el tamaño de los huertos es variado. El área destinada para éstos depende de la forma de tenencia de la tierra de cada localidad. En Huehuetla, los huertos presentan superficies de 400 m² y en San Bartolo y Agua Blanca, de 100 a 120 m² respectivamente (Figuras 2, 3 y 4).



Figura 2. Aspecto de un huerto de la comunidad de Cantarranas, municipio de Huehuetla, Hidalgo. Foto: R. Santana.



Figura 3. Aspecto de un huerto casero de la comunidad de San Pedro, municipio de Agua Blanca de Iturbide, Hidalgo. Foto: M. Pastén.



Figura 4. Aspecto de un huerto casero de la comunidad de Pie del Cerro, municipio de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo. Foto: R. Santana.

3.2 Composición y riqueza de especies

Con base en la taxonomía de las especies encontradas en los huertos, se registraron un total de 93 especies, 82 géneros y 47 familias con diferentes usos. El mayor número de familias, géneros y especies se observó en los huertos del municipio de Huehuetla (65 especies, 69,1%), seguido del municipio de Agua Blanca de Iturbide (57 especies, 60,6%) y San Bartolo Tutotepec (42 especies, 44,6%). Villavicencio y Pérez (2005) reportaron 96 familias, 222 géneros y 274 especies de plantas útiles para 11 municipios de la región Huasteca y Otomí Tepehua, Hidalgo.

3.2.1 Especies forestales

De las 93 especies encontradas en los huertos, se identificaron 21 especies forestales (22,5%), distribuidas en 16 familias (34%; Cuadro 1). Las familias con mayor número de especies fueron Fabaceae (19%), Cupressaceae y Oleaceae (9,5%). El quemite (*Erythrina americana* Mill.) se registró en todos los municipios estudiados, mientras que el sauco (*Sambucus nigra* L.) se observó en la mayor cantidad de huertos, seguido por el eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.), el níspero (*Eriobotrya japonica* [Thunb.] Lindl.) y el tepozán (*Buddleia cordata* H.B.K.). El 50% de las especies forestales tienen uso maderable, mientras que el 23% se utilizan con fines medicinales, el 14,2% como maderables y ornamentales, y el 12,8 % tiene otros usos.

Cuadro 1. Especies forestales encontradas en los huertos caseros de las comunidades de la región Otomí Tepehua, estado de Hidalgo, México.

Especies	Nombre común	Uso	Ocurrencia		
			Agb	Hue	Sbt
Anacardiaceae					
<i>Schinus molle</i> L.	Pirul	Me, Ma	X		
Myrtaceae					
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Eucalipto	Me, Ma	X	X	
Loganiaceae					
<i>Buddleia cordata</i> H.B.K.	Tepozán	Me, Ma	X	X	
Rosaceae					
<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Níspero	Ma	X		
Pinaceae					
<i>Pinus</i> spp. L.	Pino	Ma	X		X
Cupressaceae					
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	Cedro blanco	Ma	X	X	
<i>Juniperus flaccida</i> Schltl.	Junípero	Ma	X		
Oleaceae					
<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.	Trueno	Ma	X		
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Fresno	Ma	X		

Continuación cuadro 1

Especies	Nombre común	Uso	Ocurrencia		
			Agb	Hue	Sbt
Bignoniaceae					
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	Ma, Or		X	
Burseraceae					
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Chaca	Ma		X	
Fabaceae					
<i>Erythrina americana</i> Mill.	Quemite	Ma, Co, Me	X	X	X
<i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzedowski & Guridi-Gómez	Dalbergia palo-escrito	Ma		X	
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Guaxi	Me, Ma			X
<i>Platymiscium calypratum</i> M. Sousa & Klitg.	Tlacuilo	Ma		X	
Fagaceae					
<i>Quercus</i> L.	Encino	Ma	X		
Juglandaceae					
<i>Juglans pyriformis</i> Liebm.	Nogal	Me, Ma		X	
Malvaceae					
<i>Heliocarpus americanus</i> L.	Jonote	Ma, Or			X
Solanaceae					
<i>Petunia axillaris</i> (Lam.) Britton, Stern & Poggenb.	Petuña	Ma, Or		X	
Sterculiaceae					
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo	Ma, Fo		X	
Sambucaceae					
<i>Sambucus nigra</i> L.	Sauco	Me, Ma	X	X	

Agua Blanca (Agb), Huehuetla (Hue), San Bartolo Tutotepec (Sbt), medicinal (Me), comestible (Co), maderable (Ma), ornamental (Or), forraje (Fo), religioso (Re). Fuente: Encuesta a dueños de huertos de la Región Otomí Tepehua.

3.2.2 Especies medicinales

La población estudiada aún mantiene sus costumbres en cuanto al uso de remedios caseros para curarse de enfermedades. La mayoría de los hogares poseen plantas medicinales en sus huertos. Se registraron 44 especies distribuidas en 24 familias (Cuadro 2). Las familias con mayor número de especies fueron Asteraceae (9, con un 20,4%) y Lamiaceae (5, 11,3%). El mayor número de especies (35, 79,5%) se encontró en Huehuetla, seguido por San Bartolo (22, 50%) y Agua Blanca (19, 43,1%). El elevado número de especies en Huehuetla se debe en gran parte a la existencia de la Sociedad Cooperativa "Flor de Corpus de Cantarranas", municipio de Huehuetla, Hidalgo, formado por un grupo de mujeres productoras de plantas medicinales.

Cuadro 2. Especies de plantas medicinales registradas en huertos caseros de las comunidades de la región Otomí Tepehua, estado de Hidalgo, México.

Especies	Nombre común	Usos	Parte usada	%
Lamiaceae				
<i>Agastache mexicana</i> (Kunth) Lint & Epling	Toronjil	Me, Co, Or	Hj	55.5
<i>Mentha piperita</i> L.	Hierba buena	Me, Co	Hj	38.8
<i>Mentha pulegium</i> L.	Poleo	Me	Hj	27.7
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Albahacar	Me, Co, Re	Hj, Ra	22.2
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Romero	Me, Co, Re	Hj, Ra, Ta	22.2
<i>Salvia microphylla</i> Kunth	Mirto	Me	Hj	8.3
<i>Thymus vulgaris</i> L.	Tomillo	Me	Hj	22.2
Asteraceae				
<i>Ambrosia psilostachya</i> X.	Artemisa	Me, Pl	Hj	2.7
<i>Artemisia absinthium</i> L.	Ajenjo	Me, Or	Hj	41.6
<i>Artemisia ludoviciana</i>	Estafiate	Me, Re	Hj	13.8
<i>Calendula officinalis</i> L.	Mercadela	Me, Or	Hj	5.5
<i>Jaegeria macrocephala</i> Less.	Árnica	Me	Hj	27.7
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Manzanilla	Me	Hj	16.6
<i>Tagetes erecta</i> L.	Cempazuchi	Me, Ce, Re	Hj	16.6
<i>Tagetes lucida</i> Cav.	Pericón	Me, Co	Hj	25
<i>Tanacetum parthenium</i> (L.) Sch. Bip.	Santa Maria	Me, Or	Hj	44.4
Rutaceae				
<i>Decatropis bicolor</i> (Zucc.) Radlk.	Palo de muerto	Me		2.7
<i>Ruta chalepensis</i> L.	Ruda	Me, Ce	Hj, Ra	69.4
Liliaceae				
<i>Aloe vera</i> L.	Sábila	Me, Co, Or	Hj, Ra	36.1
Apiaceae				
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Hinojo	Me	Hj	33.3
Chenopodiaceae				
<i>Chenopodium ambrosoides</i> L.	Epazote	Me, Co, Pl	Hj, Ra	27.7
Labiataeae				
<i>Origanum mejorana</i> (L.)	Mejorana	Me	Hj	19.4
<i>Origanum vulgare</i> L.	Orégano	Me, Co	Hj	5.5
Verbenaceae				
<i>Lippia dulcis</i> Trev.	Hierba dulce	Me	Hj	16.6
Acanthaceae				
<i>Justicia spicigera</i> Schltldl.	Muitle	Me, Or, Co, Pl	Hj	13.8
Equisetaceae				
<i>Equisetum hyemale</i> L.	Cola de caballo	Me	Hj	2.7

Continuación cuadro 1

Especies	Nombre común	Usos	Parte usada	%
Euphorbiaceae				
<i>Croton draco</i> Schltl & Cham	Sangre de grado	Me, Ma, Cb	Hj	2.7
<i>Ricinus communis</i> L.	Higuerrilla	Me, Pl	Hj	2.7
Onagraceae				
<i>Lobelia laxiflora</i> Kunth	Tropetillo	Me	Hj	2.7
<i>Ludwigia adscendens</i> (L.) H. Hara	Hierba del golpe	Me	Hj	11.1
Phytolaccaceae				
<i>Rivinia humilis</i> L.	Chilacuaco	Me	Hj, Ra	2.7
Plantaginaceae				
<i>Plantago australis</i> Lam.	Llantén	Me	Hj	11.1
Poaceae				
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	Té limón	Me, Co	Hj, Fr	11.1
Rubiaceae				
<i>Hamelia patens</i> Jacq.	Tres hojitas	Me, Pl	Hj	11.1
Zingiberaceae				
<i>Costus spicatus</i> (Jacq.) Sw.	Caña de jabalí	Me	Hj	5.5
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	Gengibre	Me	Hj	11.1
Solanaceae				
<i>Solanum nigrescens</i> Mart & Sal.	Hierba mora	Me	Hj	8.3
Portulacaceae				
<i>Portulacca oleracea</i> L.	Verdolaga	Me	Hj	5.5
Lauraceae				
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume	Canela	Me, Re	Hj, Ta	2.7
Malvaceae				
<i>Malva parviflora</i> L.	Malva	Me	Hj	2.7
Monimiaceae				
<i>Peumus boldus</i> Molina	Boldo	Me	Hj	2.7
Moraceae				
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Ojite	Me, Ma	Hj	2.7
Polygonaceae				
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	Lengua de vaca	Me	Hj	2.7
Smilacaceae				
<i>Smilax domingensis</i> Willd.	Colcomeca	Me	Tu	2.7

Usos: Medicinal (Me), Maderable (Ma), Comestible (Co), Combustible (Cb), Religioso (Re), Colorante (Co), Plaguicida (Pl), Sombra (Sb), Cerca (Ce). Parte usada: Hoja (Hj), Tallo (Ta), Rama (Ra), Raíz (Rz), Fruto (Fr), Tubérculo (Tu). Fuente: Encuesta a dueños de huertos de la región Otomí Tepehuá. El % corresponde a la proporción del número total de huertos en donde se registró cada especie.

Algunas plantas como la ruda (*Ruta chalepensis* L.), el toronjil (*Agastache mexicana* [Kunth] Lint & Epling), la Santa María (*Tanacetum parthenium* [L.] Sch. Bip.), el ajeno (*Artemisia absinthium* L.), y la hierba buena (*Mentha piperita* L.) se encontraron en todas las comunidades estudiadas y son por lo tanto las que tienen mayor proporción del total de especies medicinales (Cuadro 2). Especies como jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), cempazuchi (*Tagetes erecta* L.) y colcomeca (*Smilax dominicensis* Willd.) se observan en los huertos de las comunidades de Huehuetla y San Bartolo Tutotepec. Algunas especies como *Ruta chalepensis* L., *Tagetes erecta* L., *Ocimum basilicum* L., *Rosmarinus officinalis* L., entre otras, son usadas en las festividades, ceremonias religiosas o rituales que forman parte de sus tradiciones y transmitidas de generación a generación.

3.2.3 Especies frutales

Se registraron 28 especies frutales, correspondientes a 16 familias (Cuadro 3). El mayor número de especies por familias fue para Rutaceae (7 especies, 25%), Rosaceae (5 especies, 17,8%), Anacardiaceae y Moraceae (2, 7,1%). Las especies con la mayor frecuencia en los huertos fueron el durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch, 55,5%), aguacate (*Persea americana* Mill., 36,1%), pera (*Pyrus communis* L., 33,3%), naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), manzana (*Malus x domestica* Borkh), plátano (*Musa x paradisiaca* L.) y ciruelo (*Spondias purpurea* L.), todas ellas con similar proporción (Cuadro 3). Al igual que ocurre con las plantas medicinales, Huehuetla y San Bartolo Tutotepec tienen árboles frutales que no se cultivan en Agua Blanca de Iturbide, como son maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.), jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), papaya (*Carica papaya* L.) y caña (*Saccharum officinarum* L.). Las frutas se usan como alimento, medicina casera y, cuando hay excedente, para la venta.

Cuadro 3. Especies frutales en los huertos caseros de las comunidades de la región Otomí Tepehua, estado de Hidalgo, México.

Especies	Nombre común	Usos	Parte usada	%
Anacardiaceae				
<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	Co, Me	Fr	13.8
<i>Spondias purpurea</i> L.	Ciruelo	Co, Or, Me	Fr, Hj	30.5
Onagraceae				
<i>Lobelia laxiflora</i> Kunth	Tropetillo	Me	Hj	2.7
Annonaceae				
<i>Annona cherimola</i> Mill.	Chirimoya	Co	Fr	5.5
Caricaceae				
<i>Carica papaya</i> L.	Papaya	Co, Me, Or	Fr	8.3
Fabaceae				
<i>Tamarindus indica</i> L.	Tamarindo	Co	Fr	2.7
Lauraceae				
<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	Co, Me, Pl	Fr, Hj	36.1
Lythraceae				
<i>Punica granatum</i> L.	Granada	Co	Fr	16.6
Melastomaceae				
<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonp.) D.	Capulín	Co	Fr	11.1

Continuación cuadro 1

Especies	Nombre común	Usos	Parte usada	%
Moracea				
<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Jaca	Co	Fr	2.7
<i>Ficus carica</i> L.	Higo	Co	Fr	8.3
Myrtaceae				
<i>Psidium guajava</i> L.	Guayabo	Co, Me, Pl	Fr, Hj	13.8
Musaceae				
<i>Musa x paradisiaca</i> L.	Plátano	Co, Me, Or	Fr, Fl, Rz	30.5
Oxalidaceae				
<i>Averrhoa carambola</i> L.	Carambola	Co	Fr	2.7
Pasiflorácea				
<i>Passiflora edulis</i> Sims	Maracuya	Co, Me, Or	Fr	16.6
Poaceae				
<i>Saccharum officinarum</i> L.	Caña	Co, Me	Ta	2.7
Rosacea				
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé	Tejocote	Co, Me	Fr, Hj	5.5
<i>Fragaria vesca</i> L.	Fresa	Co	Fr	5.5
<i>Malus x domestica</i> Borkh	Manzana	Co	Fr	30.5
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Durazno	Co	Fr	55.5
<i>Pyrus communis</i> L.	Pera	Co	Fr	33.3
Rubiaceae				
<i>Coffea arabica</i> L.	Café	Co, Me	Se	5.5
Rutaceae				
<i>Casimiroa edulis</i> Llave & Lex.	Zapote blanco	Co, Me, Pl	Fr, Hj, Rz,	13.8
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Naranja	Co, Me	Fr, Hj	30.5
<i>Citrus aurantiifolia</i> (Cristm.) Swingle	Lima	Co, Me	Fr, Hj	13.8
<i>Citrus aurantium</i> (L.)	Naranja agria	Co, Me	Fr,	2.7
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm.	Limón	Co, Me	Fr	25.0
<i>Citrus paradisi</i> Macfad.	Toronja	Co	Fr	5.5
<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Mandarina	Co	Fr	11.1

Usos: Comestible (Co), Medicinal (Me), Ornamental (Or), Plaguicida (Pl). Parte usada: Fruto (Fr), Hoja (Hj), Flor (Fl), Semilla (Se), Tallo (Ta), Raíz (Rz). Fuente: Encuesta a dueños de huertos de la región Otomí Tepehua. El % corresponde a la proporción del número total de huertos en donde se registró cada especie.

3.3 Cría de animales en los huertos

Con respecto a la cría de animales en los huertos, se encontró que las familias tienen gallinas, pavos, puercos y borregos. La producción se destina para autoconsumo y en menor medida para la venta. Los entrevistados mencionaron que reciben apoyo del PESA para la construcción de corrales y adquisición de gallinas y puercos. Las enfermedades que infectan a las gallinas y cerdos, principalmente, son uno de los principales problemas para su cría. Un ejemplo de lo anterior es que en la comunidad de Cerro Alto, municipio de San Bartolo Tutotepec, una familia perdió su recurso avícola que constaba de 20 gallinas y 15 pollos, los cuales se infectaron de enfermedades contagiosas, quedando únicamente dos pollos en el corral.

3.4 Formas de manejo e importancia de los huertos

Las actividades de manejo que se desarrollan en los huertos son la poda, el deshierbe, el cambio de tierra y el cercado con madera o alambre. El deshierbe y la siembra se realizan durante el periodo de lluvias (mayo a noviembre). Para el 69% de los entrevistados, los huertos caseros proveen una parte importante de los alimentos que necesitan, lo cual obtienen de los frutales, las plantas medicinales y los animales. El 31% manifestó que además de suministrar alimentos, los huertos generan ingresos y sirven para ocupar el tiempo libre.

En los municipios de estudio, las plagas y enfermedades son los principales problemas que afectan a los huertos. Los entrevistados mencionaron que para prevenir o erradicar las enfermedades utilizan insecticida natural (elaborado con ajo, cebolla, ortiga, chile, chichicaste y jabón). Para mejorar la producción de sus huertos, los entrevistados mencionaron que además del apoyo que reciben del PESA para capacitación, material de construcción (cemento, mallas, madera para cercado de los huertos) requieren de capacitación para diversificar sus cultivos en los huertos, tinajas para almacenar agua, y sistemas de riego con espesores, así como más espacio para la ampliación de los mismos.



Huerto familiar. Foto F. Montagnini.

4. CONCLUSIONES

La práctica del cultivo de huertos caseros y el conocimiento tradicional sobre las plantas están presentes en los tres municipios estudiados, lo que puede estar asociado con la alta presencia indígena en las comunidades analizadas. Sin embargo, esta práctica puede desaparecer debido al crecimiento de la población y a los movimientos migratorios de la población en edad productiva hacia otros estados del país.

Las especies que se cultivan en mayor medida en los huertos son las de uso medicinal. Los usos de las especies cultivadas en los huertos están fuertemente relacionados con el conocimiento tradicional, las ceremonias y las costumbres locales en los municipios estudiados. La importancia de los huertos radica en que éstos proveen gran parte de los alimentos y medicinas caseras, elementos necesarios para la seguridad alimentaria de los integrantes de la familia, además de generar beneficios económicos y culturales.

A pesar de los problemas que enfrentan los pobladores en los tres municipios para asegurar el desarrollo y permanencia de los huertos, existe interés por parte de las familias en ampliarlos. Por esta razón, se hace necesario promover la asistencia técnica y la capacitación para fomentar el buen manejo y la diversificación de los productos. Desde comienzos de 2005, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), por medio del Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales (AACAyF) y el Centro de Investigaciones Biológicas (ICB), lleva a cabo acciones en las comunidades de los municipios de estudio, sobre todo en Huehuetla, con el objetivo de establecer y mejorar los huertos caseros. La metodología de trabajo consistió en la realización de talleres de planificación participativa en las comunidades, para establecer los problemas de las actividades productivas y definir posibles proyectos productivos. La primera actividad fue la formación de un grupo de mujeres para la producción de plantas medicinales en huertos caseros y adicionalmente, se realizó la recopilación de información mediante entrevistas, recolecta de muestras botánicas y registro fotográfico de las plantas medicinales.

Posteriormente, se elaboró un plan de acción para la capacitación de las integrantes del grupo. En los últimos nueve años, el trabajo continuó y actualmente, el grupo de mujeres cuenta con una organización denominada Sociedad Cooperativa "*Flor de Corpus de Cantarranas*", localizada en el municipio de Huehuetla. La producción en sus huertos caseros ha mejorado ya que cuentan con mejor infraestructura (jardineras), cercado con mallas, cultivo de hortalizas y nuevas técnicas de secado de plantas. También la participación del grupo en los cursos de capacitación promovidos por la UAEH se ha incrementado. La Sociedad Cooperativa ha tenido oportunidad de participar en los eventos anuales que promueve la Universidad para la exposición y venta de sus productos. Los resultados, obtenidos gracias a la participación de las comunidades de Huehuetla, han motivado a la UAEH a ampliar su intervención para el desarrollo de huertos caseros en otras comunidades de los municipios de Agua Blanca de Iturbide y San Bartolo Tutotepec.

BIBLIOGRAFÍA

- Callejas, CM. 2006. Flora medicinal de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo. Tesis Lic. Pachuca, Hidalgo, CIB-UAEH. 172 p.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2008. Aplicación de la metodología para la medición de la pobreza por ingreso y prueba de hipótesis (en línea). Disponible *En:* http://www.coneval.gob.mx/rw/resource/coneval/med_pobreza/3495.pdf.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. Programa estratégico para la seguridad alimentaria (en línea). Disponible *En:* http://www.utn.org.mx/seguridad_alimentaria.html
- FAO. 1998. Declaración de Roma sobre la seguridad alimentaria mundial y plan de acción de la cumbre mundial sobre alimentación (en línea). Disponible *En:* <http://www.fao.org/DOCREP/003/W3613S/W3613S00.htm>
- FAO. 2008. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Roma, Italia, FAO. 59 p.
- GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). 2008. Huertos familiares: tesoros de diversidad. Eschborn, Alemania, GTZ. 4 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2008. Perfil sociodemográfico de Hidalgo. Aguascalientes, México. 111 p.
- INEGI. 2010. Principales resultados por localidad. Aguascalientes, México (en línea). Disponible *En:* <http://www.inegi.org.mx>
- Montagnini, F; Metzel, R. Biodiversidad, manejo de nutrientes y seguridad alimentaria en huertos caseros mesoamericanos. Este Volumen.
- Ortiz, AB. 2007. Plantas comestibles utilizadas por los Otomís de Santo Antonio El Grande, Huehuetla, Hidalgo. Tesis Lic. Pachuca, Hidalgo, CIB-UAEH. 145 p.
- Rodríguez, J; Díaz, R; Gallardo, M; García, GA; Parra, A. 2006. El huerto. Una alternativa de producción familiar. Maracay, Venezuela, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 39 p.
- Rzendowski, J. 1983. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. 432 p. The Plant List. 2010. Versión 1 (en línea). Disponible *En:* <http://www.theplantlist.org>
- Vargas, P. 2011. Pobreza, migración y desempleo: mujeres en la región Otomí Tepehua de Hidalgo. Nueva Antropología (24-75): 93-109.
- Villavicencio, MA; Pérez, BE. 2005. Guía de la flora útil de la Huasteca y de la Zona Otomí Tepehua, Hidalgo I. Pachuca, México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 171 p.



Huerto familiar. Foto F. Montagnini



422

SAF multiestrato con caucho y otras especies, en bosque manejado comunitariamente. Foto F. Montagnini.

Capítulo 20

CONCLUSIONES

Florencia Montagnini¹, Eduardo Somarriba², Enrique Murgueitio³, Hugo Fassola⁴, Beatriz Eibl⁵

¹ Universidad de Yale, Escuela Forestal y de Estudios Ambientales,
360 Prospect St., New Haven, CT, 06511, EE.UU.,

Correo electrónico: florencia.montagnini@yahoo.com, florencia.montagnini@yale.edu

² Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica

³ Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria
(CIPAV), Cali, Colombia

⁴ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria
(EEA) Montecarlo, Misiones, Argentina

⁵ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones
(UNaM), Eldorado, Misiones, Argentina

INTRODUCCIÓN

Cuando se publicaron las dos ediciones del libro sobre sistemas agroforestales producido por la OTS y el CATIE (Montagnini et al. 1986 y 1992) el énfasis era mostrar cómo los sistemas agroforestales podían ser alternativas viables de producción, aumentando la sostenibilidad, mejorando los suelos y favoreciendo a los pequeños agricultores de zonas rurales, especialmente en el trópico. Los sistemas agroforestales, aunque antiguos como práctica en muchas de sus formas, eran en esos momentos (1980-1990) relativamente nuevos para el mundo académico y científico-técnico. Las investigaciones se enfocaban en los aspectos de diseño de los sistemas, con sus arreglos espaciales y temporales y sus distanciamientos entre los componentes. Se hacía mucho énfasis en las especies de propósito múltiple y sus funciones y productos, resultando en la publicación de numerosos libros, la mayoría en inglés (por ejemplo, Stepler y Nair 1987, Nair 1989, Reifsnnyder y Darnhofer 1989, MacDicken y Vergara 1990, Ong y Huxley 1996, Buck et al. 1999, Huxley 1999, Ashton y Montagnini 2000, entre otros). Los árboles y arbustos fijadores de nitrógeno recibieron atención especial por parte de los investigadores y organizaciones de desarrollo rural entre la década de 1970 y 1990. Se realizaron numerosas colecciones y procesos de evaluación y selección de procedencias con el fin de contar con materiales de rápido crecimiento para mejorar la agricultura, destacándose los trabajos con especies de los géneros *Acacia*, *Alnus*, *Albizia*, *Erythrina*, *Gliricidia*, *Leucaena* y *Prosopis* (NAS 1979, MacDicken 1994, CATIE 1995, Gómez et al. 1995, Escobar et al. 1996, Shelton 1996, Cordero y Dossier 2004, Evans y Turnbull 2004).

Se desarrolló también metodología para evaluaciones de tipo financiero, así como modelos para cálculos de impactos sobre suelos, y también para contribuir en aspectos de diseño de los sistemas más adecuados a situaciones específicas (por ejemplo, Ramakrishnan 1992, Sullivan et al. 1992, Young 1997). Sumado a éstos, numerosos "Working Papers" y otros documentos fueron publicados oportunamente por ICRAF (Centro Internacional para la Investigación Agroforestal, actualmente también llamado World Agroforestry Center). Algunos libros fueron preparados en español para uso del extensionista en desarrollo rural, como los dos volúmenes publicados por ENDA-Caribe y CATIE (Geilfus 1989a, 1989b) y más de 1000 publicaciones técnicas y tesis del CATIE, reseñadas en dos colecciones bibliográficas que cubren publicaciones hasta el año 2001 (CATIE 1999, 2001).

Posteriormente y aunado a crecientes cuestionamientos de tipo ambiental y de problemas del desarrollo rural, los temas en la investigación y aplicación de sistemas agroforestales se volcaron a aspectos vinculados con los desafíos que existen en el mundo para contribuir a aliviar la pobreza rural y aumentar y mejorar la seguridad alimentaria (Garrity 2004). Asimismo, ha tomado relieve en la última década el papel que pueden cumplir los sistemas agroforestales para lograr la adaptación al cambio climático, e inclusive mediante la fijación de carbono, para cumplir una función en la mitigación del cambio climático (Montagnini 2005, Palm et al. 2005, FAO 2012). Finalmente, dado que los sistemas agroforestales frecuentemente se consideran un uso de la tierra que puede lograr un compromiso entre funciones productivas y ambientales, en varios libros recientes se ha hecho hincapié en las contribuciones que pueden hacer los sistemas agroforestales a la recuperación de atributos del ecosistema y del paisaje, tales como la restauración y la conservación de la biodiversidad, los servicios hidrológicos en las cuencas y microcuencas para regulación de caudales y evitar los sedimentos y la contaminación, así como la conectividad en paisajes fragmentados (Schroth et al. 2004, Chará y Murgueitio 2005, Redondo Brenes y Montagnini 2010, Montagnini et al. 2011, entre otros).

La cobertura mundial de sistemas agroforestales ha sido estimada con base en cálculos de la cobertura arbórea de los diferentes tipos de uso de la tierra. Por ejemplo, si consideramos una cobertura arbórea mínima del 10% de la superficie del suelo, el 46% de la tierra agrícola (unos 1000 millones de hectáreas) se podrían considerar como sistemas agroforestales (Zomer et al. 2009, 2014). Esta es una estimación general, sin embargo diversas fuentes coinciden con esas cifras en la actualidad (Nair et al. 2010). Los SAF están ampliamente difundidos en América Latina y el Caribe, con un total de 200-357 millones de ha incluyendo 14-26 millones en América Central y 88-315 en América del Sur, siendo los más prominentes los sistemas silvopastoriles (incluye pastoreo en ambientes con sucesión vegetal y zonas arbustivas) y los de cultivos anuales y perennes bajo sombra (Somarriba et al. 2012). Esto señala la preponderancia de los SAF como un uso de la tierra que cumple múltiples funciones necesarias en la región, entre ellas armonizar los fines productivos con los ambientales.

Desde 1992 al presente, han sido publicados varios libros para la enseñanza y difusión de SAF en América Latina y el Caribe, tales como los Módulos de Enseñanza Agroforestal del CATIE, los cuales incluyen temas variados referentes a diferentes tipos de SAF, como los huertos caseros tropicales (Lok 1998), sistemas silvopastoriles (Pezo e Ibrahim 1999), plantación de árboles en línea (Méndez et al. 2000), árboles en cafetales (Muschler 2000), y otros volúmenes, dentro de los que se destaca un extenso manual editado por CATIE y Oxford Forestry Institute (OFI) con la descripción de especies forestales útiles para SAF en América Central en versión impresa y digital (Cordero y Dossier 2004).

Otros libros han sido publicados para promover implementación de SAF en regiones específicas de América Latina, tales como el “Manual Agroforestal para la Amazonia,” editado por la Red Brasileña de Sistemas Agroforestales (REBRAF; Dubois et al. 1996), y el “Manual Agroforestal para la Mata Atlántica” (May y Moreira Trovatto 2008). Por otro lado, recientemente los sistemas agroforestales, en este caso los silvopastoriles, también han sido protagonistas cuando se los presenta como alternativas para recuperar la productividad y los servicios ambientales en regiones donde es necesario realizar cambios fuertes en los usos de la tierra, como se describe en “Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo” (Murgueitio et al. 2009).

El presente libro intenta mostrar una visión actualizada de los avances en el conocimiento y aplicación de los SAF en relación con sus funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. En el presente capítulo se reseña brevemente el contenido de cada capítulo del libro y sus principales conclusiones, apuntando a señalar los logros básicos así como necesidades y perspectivas futuras de los SAF en América Latina y el Caribe.

1. CONTENIDOS DEL PRESENTE LIBRO

1.1 Primera parte: Funciones productivas de los SAF: productividad y sostenibilidad de árboles, cultivos y animales domésticos (ganadería)

Esta primera parte del libro contiene cinco capítulos: tres enfocados en productividad y sostenibilidad de cultivos perennes y anuales y sus árboles asociados, sus componentes, diseños, las interacciones entre componentes, y políticas que promueven estos sistemas. Le siguen dos capítulos que describen sistemas silvopastoriles, su productividad, diseño, y aspectos financieros.

1.2 Segunda parte: SAF orgánicos, compromiso entre la productividad y los servicios ecosistémicos

La segunda parte contiene tres capítulos donde se tratan temas ecológicos de diseño, manejo, especies de árboles acompañantes, interacciones entre los componentes, y aspectos socioeconómicos y de políticas de SAF orgánicos. Se enfocan respectivamente en tres cultivos perennes: café en Costa Rica, yerba mate en Misiones, Argentina, y guayusa en la región amazónica de Ecuador.

1.3 Tercera parte: Los SAF como alternativa en zonas rurales en ambientes degradados

La tercera parte contiene tres capítulos, dedicados a tres temas contrastantes que tienen que ver con la gran necesidad de proveer sistemas de uso de la tierra alternativos en ecosistemas degradados. El primero destaca el potencial de los proyectos agroforestales para lograr beneficios socioeconómicos y ambientales en zonas rurales en países con intensa degradación de los recursos naturales, lo cual ha llevado a que se manifiesten necesidades extremas en la población rural y urbana, como lo es Haití. El segundo pone énfasis en especies leñosas con potencial para uso en sistemas agroforestales en Veracruz, México, destacando propiedades de las especies que las hacen aptas para contribuir a diferentes objetivos de restauración, incluida la conservación o metas productivas. Termina esta sección con un capítulo donde se pone énfasis en la diversidad de especies de plantas en el estrato herbáceo de sistemas silvopastoriles con pastizales naturales, los cuales son un uso dominante de la tierra, siguiendo el corte del bosque natural, en una zona serrana sub-húmeda del centro de Argentina.

1.4 Cuarta parte: Funciones ambientales y servicios ecosistémicos de los SAF

La cuarta parte es la más extensa, con ocho capítulos, pudiendo haber sido dividida en secciones correspondientes a cada una de las funciones ambientales de los SAF que se tratan, pero no fue así ya que algunos de los capítulos de esta sección están dedicados a varias de estas funciones al mismo tiempo. El papel de los SAF en la adaptación y mitigación del cambio climático es el enfoque principal de los primeros tres capítulos de esta sección, con una revisión general del tema y con ejemplos de toda América Latina, seguida por dos capítulos dedicados a detalles sobre proyectos de desarrollo con enfoque de REDD+ (Perú), y a metodologías para la estimación de biomasa y carbono de especies arbóreas utilizadas en SAF (Misiones, Argentina).

Le siguen dos capítulos, con revisiones basadas en experiencias en Colombia: uno sobre servicios ambientales de sistemas silvopastoriles intensivos, que se enfoca en varios servicios: mejora en propiedades del suelo y restauración ecológica, y otro sobre servicios ecosistémicos en general y en particular la conservación de la biodiversidad en SAF con café. Los tres últimos capítulos de esta sección se refieren a la biodiversidad en SAF: los SAF como estrategia para favorecer la conectividad funcional del paisaje fragmentado, presentando resultados de una revisión de literatura de toda América Latina, seguido por otra revisión sobre biodiversidad, manejo de nutrientes y seguridad alimentaria en huertos caseros mesoamericanos, y un último capítulo sobre riqueza de especies en huertos caseros de México.

Con las Conclusiones, suman en total 20 capítulos, que a pesar de su extensión, no alcanzan para cubrir toda la gama de experiencias sobre las funciones de SAF en América Latina y el Caribe. En las siguientes secciones de este capítulo se resumen las principales conclusiones de cada parte del presente libro, destacando los logros alcanzados y las necesidades presentes y futuras en continuar o profundizar con cada tema tratado.

2. PRIMERA PARTE: FUNCIONES PRODUCTIVAS DE LOS SAF: PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE ÁRBOLES, CULTIVOS Y ANIMALES

2.1 Conclusiones de cada capítulo

En el **Capítulo 1 – Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales**, Rapidel et al. reseñan los conocimientos sobre ventajas y desventajas del asocio entre el cafeto (*Coffea arabica*) y los árboles, desde los puntos de vista ecológicos y económicos. Éste es un tema básico en el conocimiento sobre SAF, donde se pretende lograr una armonía entre la productividad del café y su calidad, dependientes de los ciclos de nutrientes y del agua, control de plagas y enfermedades, y aspectos financieros.

El capítulo presenta evidencia científica con literatura internacional donde se de-mistifica en parte a los SAF, ya que a pesar de que el café es una especie originaria del sotobosque, adaptada a ambientes sombreados, plantaciones a pleno sol permiten productividades más elevadas si las condiciones de temperatura y de manejo (especialmente la fertilización) son adecuadas. Sin embargo, se refuerzan las razones para el uso de la sombra en SAF con café, ya que los árboles protegen al cafeto contra extremos climáticos y permiten mejorar la fertilidad del suelo y la calidad del producto. Como estos autores lo demuestran, muchos de estos efectos dependen del sitio, y a menudo son contradictorios, por ejemplo en lo que se refiere a plagas y enfermedades.

Finalmente, los autores destacan que en América Latina los SAF de café con sombra de árboles de servicio tienen características que dan una mayor resiliencia a las plantaciones frente a perturbaciones climáticas o económicas. Cuando se usan árboles con fines de producción, se debe hacer compromisos entre los diferentes objetivos, que dependen de las situaciones de los productores. Estos conceptos y realidades son aplicables a casi todos los SAF, debido a que por ser sistemas de uso de la tierra complejos, su manejo adecuado requiere conocimiento detallado, que sólo se logra si se combina investigación científica con conocimiento local de los productores.

En el **Capítulo 2 – Producción agroforestal de madera en fincas agropecuarias de Centroamérica**, Detlefsen y Somarriba analizan la producción de madera en SAF con café, cacao y ganadería en América Central, tanto de árboles ya presentes en los sistemas como de plantaciones, con listas de las especies maderables más abundantes y su productividad. Los autores concluyen que el crecimiento y el rendimiento de las especies maderables, sean éstas en forma de árboles dispersos, o plantados en bloques o en líneas en asociación con cultivos y/o pastos, en Centroamérica son muy buenos, lo cual refuerza una de las razones más importantes para que el agricultor favorezca asociaciones con árboles, ya que la producción de madera puede ser una actividad económicamente atractiva, complementaria a otras medidas de optimización y diversificación de la producción.

Los autores también discuten el marco legislativo y político que rige la producción, transporte y uso de la madera proveniente de fincas agropecuarias en Centroamérica. El cultivo, manejo y aprovechamiento legal de la madera producida en fincas agropecuarias diversifica la producción, aumenta el ingreso de la familia rural y el valor de las propiedades. Con esto el capítulo muestra el valor de los SAF para el beneficio financiero de los agricultores de la región (Detlefsen y Somarriba 2012).

En el **Capítulo 3 – Sistemas Taungya en plantaciones de especies forestales de alto valor comercial en Venezuela**, Escalante y Guerra describen sistemas Taungya exitosos, en los que cultivos de ciclo corto son intercalados en plantaciones maderables de alto valor comercial durante los primeros años de vida de la plantación forestal, cuando los árboles son aún pequeños y no ocupan todo el espacio ni sombrean excesivamente los cultivos, produciendo alimento para las comunidades involucradas e ingresos adicionales que compensan la inversión forestal inicial. Estos sistemas, principalmente utilizados para reducir los costos de establecimiento de las plantaciones, si son bien diseñados pueden mejorar el crecimiento maderable ya que las labores de cultivo eliminan la competencia con las malezas y los árboles aprovechan los insumos y mejoras en la fertilidad del suelo y control de la erosión. En Venezuela estas experiencias son conducidas tanto por empresas privadas como por proyectos gubernamentales para contribuir con beneficios socioeconómicos a comunidades aledañas a áreas protegidas. Las experiencias reseñadas por los autores reafirman el potencial de los sistemas Taungya como una alternativa sustentable y eficiente del uso de la tierra para la seguridad agroalimentaria y la restauración de sitios degradados.

Los dos últimos capítulos de esta sección están dedicados a los sistemas silvopastoriles. En el **Capítulo 4 – Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina**, Murgueitio y colaboradores describen en detalle el diseño y manejo de este tipo de SSP que combina arbustos forrajeros en alta densidad para el ramoneo directo del ganado, además de pastos tropicales seleccionados y árboles maderables o frutales, con oferta permanente de agua en bebederos móviles para los animales. Numerosos trabajos de investigación han sido realizados sobre SSPi en América Latina y el Caribe, especialmente por CIPAV en Colombia y otros países, que demuestran aumentos de la producción de carne y leche a menores costos financieros y con sustentabilidad, además de funciones ambientales de rehabilitación de suelos, así como otros beneficios descritos en la cuarta sección de este libro por Chará et al. Culmina con un análisis que muestra su viabilidad financiera. Los SSPi son flexibles, y diferentes diseños y especies han sido adaptados a diversas condiciones agroecológicas, desde trópico seco a húmedo y regiones tropicales de tierras bajas y altas.

En el **Capítulo 5 – Los sistemas silvopastoriles en las provincias de Misiones y Corrientes, Argentina**, Colcombet et al. describen SSP enfocados en lograr madera de alta calidad con un componente forrajero y animal seleccionado a tales fines. Este capítulo presenta información sobre el componente forrajero de gramíneas y producción animal, y algunas interacciones tales como efectos de la sombra sobre la fertilidad del suelo. Se presenta un análisis de la calidad de madera producida en SSP, en comparación con madera de plantaciones puras tal como se practica en la región. Se muestran análisis económico-financieros de los SSP, como herramientas para la toma de decisiones en su implementación. Los autores concluyen que el impacto de los SSP es promisorio sobre el medio social, debido a los mayores ingresos, generación de fuentes de trabajo y sostenibilidad de los recursos.

2.2 Conclusiones generales de la primera sección

Basado en el contenido de esta primera parte, se puede concluir que ha habido progreso sustancial en la investigación y aplicación de SAF en América Latina y el Caribe durante los más recientes 20 años, en referencia a sus aspectos productivos tanto de especies agrícolas perennes como anuales, el componente arbóreo y animales. Esto está muy ligado a los beneficios financieros, cuyos datos indican mayores ingresos y diversificación de productos, con ventajas tanto para pequeños como medianos y grandes productores. Los avances en el conocimiento de las interrelaciones entre los componentes son también considerables, pero muy dependientes de las condiciones biofísicas y socio-económicas del sitio.

3. SEGUNDA PARTE: SAF ORGÁNICOS, COMPROMISO ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Actualmente la agricultura orgánica está en apogeo debido al interés de los consumidores en la disponibilidad de alimentos más nutritivos, sabrosos y saludables (Humane Society International 2010). Además, los productos orgánicos pueden tener un valor agregado que eleva el precio recibido por el agricultor (Eco-Lógica 2013) o en su defecto, en igualdad de oferta, ser preferidos por los consumidores gracias a la percepción de sus connotaciones positivas con referencia al medio ambiente. Los SAF favorecen la agricultura orgánica al hacer uso del reciclaje de nutrientes y agua de manera eficiente, evitando el uso de agroquímicos, sin embargo existen dificultades propias del manejo y escogencia de especies adecuadas para estas prácticas. Esta segunda parte contiene tres capítulos donde se destacan las ventajas y desventajas de la producción orgánica en SAF de tres importantes cultivos permanentes: el café en América Central, la yerba mate en la cuenca del Paraná, y la guayusa en la cuenca del Amazonas.

3.1 Conclusiones de cada capítulo

Existen muy pocas experiencias publicadas hasta la fecha, donde se comparan productividad, aspectos financieros y servicios ecosistémicos de SAF orgánicos y convencionales. **En el Capítulo 6 – La productividad útil, la materia orgánica y el suelo en los primeros 10 años de edad en sistemas de producción de café a pleno sol y bajo varios tipos de sombra y niveles de insumos orgánicos y convencionales en Costa Rica**, Virginio Filho et al. analizan los resultados de un ensayo

de largo plazo que compara café en SAF con diferentes especies arbóreas con café a pleno sol, ambos con diversos insumos orgánicos y convencionales. Los SAF con manejo convencional hasta el momento han tenido la mayor producción de café, pero los SAF orgánicos han logrado también productividad muy alta, con menores costos, han evitado la acidificación de los suelos y mejorado sus propiedades físicas y químicas, mantienen una mayor biodiversidad herbácea y menor incidencia de plagas.

En Misiones, Argentina, en muchos casos el cultivo de la yerba mate se realiza de manera orgánica ya que los agricultores frecuentemente no poseen los recursos para comprar agroquímicos. Asimismo la combinación de la yerba mate con árboles en SAF es realizada muchas veces con un fin principalmente económico, plantando los árboles maderables que más se utilizan en la región, así como frutales y cultivos alimenticios. En el **Capítulo 7 – *Ilex paraguarienses* A. St. Hil., yerba mate orgánica bajo dosel de especies nativas maderables, una propuesta de producción sustentable**, Eibl et al. destacan las ventajas del uso de SAF de yerba mate. Plantada en monocultivo la yerba mate causa agotamiento de los nutrientes del suelo y erosión, mientras que bajo cubierta de árboles la planta de yerba mate se beneficia por un ambiente más estable, el suelo queda protegido, la sombra propicia la formación de plantas más sanas, y la mayor diversificación aporta nutrientes y contribuye al control de plagas y enfermedades. Para la certificación de yerba orgánica se recomienda incluir árboles nativos en SAF. Los autores reseñan antecedentes de adaptación, crecimiento, manejo, valor económico y potencial para la restauración de especies nativas para SAF orgánicos con yerba mate.

El cultivo de la guayusa, *Ilex guayusa* Loes., árbol del mismo género botánico que la yerba mate, se realiza también de manera orgánica en SAF tradicionales en la Amazonia ecuatoriana, donde los indígenas kechua la consumen como un té estimulante y como parte de sus tradiciones culturales. En el **Capítulo 8 – Manejo y comercialización actual de un cultivo ancestral: el caso de guayusa, *Ilex guayusa* Loes., en la Amazonia ecuatoriana**, Hines et al. describen su cultivo y comercialización internacional, mostrando cómo un producto no maderable de un SAF indígena tradicional puede contribuir a mejorar los niveles de vida de los pobladores locales. Para lograr estos objetivos, que involucran ampliar el cultivo a mayor escala para satisfacer la demanda internacional, se lleva a cabo un programa de domesticación para diseñar SAF basados en los sistemas indígenas.

3.2 Conclusiones generales de la segunda sección

De estos tres capítulos, se concluye que los SAF en muchos casos son manejados de manera orgánica siguiendo tradiciones y en gran parte debido a limitaciones de capital de las poblaciones que lo practican. Precisamente por esta razón, urge aumentar la capacidad técnica en diseño y manejo de SAF orgánicos, para que los productos obtengan las certificaciones necesarias y de esa manera lograr mejores precios y elevar sus condiciones de vida. Son varios los desafíos aún pendientes en la identificación de los mejores diseños agroforestales, adecuado manejo y el desarrollo y el fomento de políticas correctas de incentivos y precios.

4. TERCERA PARTE: LOS SAF COMO ALTERNATIVA EN ZONAS RURALES EN AMBIENTES DEGRADADOS

Cabe señalar que muchos o casi todos los capítulos de este libro contienen aspectos relacionados con restauración de los ecosistemas, debido a que muy frecuentemente los SAF son practicados precisamente en áreas de terrenos donde otras alternativas de uso no pueden ser practicadas debido al alto grado de degradación de los recursos naturales. En esta sección se destacan casos en que los SAF son diseñados específicamente para lograr usos productivos de la tierra en áreas degradadas de Haití, México y Argentina.

4.1 Conclusiones de cada capítulo

Extensas zonas de Haití presentan altos niveles de degradación, situación que aunada a los conflictos y pobreza de la población han llevado a la comunidad de ayuda internacional a desarrollar numerosos proyectos dentro de los cuales los SAF son claves para lograr objetivos de restauración y producción de leña, madera y alimentos. En el **Capítulo 9 – Evaluación del potencial de los proyectos agroforestales para lograr beneficios ambientales y socio-económicos en zonas rurales de Haití**, Marlay evalúa varios de estos proyectos y concluye que para aumentar sus efectos positivos, debe promoverse el uso de especies nativas, utilizar los conocimientos tradicionales de los agricultores en el diseño y manejo, incorporar ganado en forma de SSP, y apoyar a las comunidades con incentivos para fomentar la plantación de árboles en SAF. Todo esto debe estar ligado a estrategias de manejo de los recursos naturales, para enfrentar la deforestación, la degradación de tierras y la pobreza en el país.

El conocimiento sobre especies nativas adecuadas para proyectos de restauración utilizando SAF con fines productivos y ambientales al mismo tiempo, es clave para el logro de la armonía esperada entre ambos objetivos. En el **Capítulo 10 – El conocimiento local de especies leñosas para la restauración del bosque tropical seco de Paso de Ovejas, Veracruz, México**, Suárez Islas et al. realizan una reseña de especies nativas categorizadas según su abundancia o situación de peligro de extinción, para su uso en proyectos de restauración de bosque seco en Veracruz, México. Los usos de la tierra recomendados para casi 80 especies nativas seleccionadas incluyen SAF y SSP.

En el tema de la restauración es conveniente considerar cómo evitar la continuación o, aún más, cómo inclusive frenar el proceso de degradación, desde el principio, evitando o atenuando algunos de los factores que la provocan. En el **Capítulo 11 – Productividad global y diversidad de herbáceas en sistemas silvopastoriles de *Pinus elliottii* Engelm. con pastizal natural en la zona serrana sub-húmeda del centro de Argentina**, Verzino et al. evalúan los efectos del establecimiento de SSP con praderas naturales, en las cuales se instalan pinos con fines productivos y para evitar los incendios, una de las principales causas de la degradación de pastizales naturales en esa región serrana en el centro de Argentina. Los autores concluyen que los SSP son productivos, especialmente en lo que se refiere a madera de los pinos y biomasa de las gramíneas, y al mismo tiempo éstos permiten diversidad elevada en las especies de gramíneas asociadas. Los autores muestran cómo un SSP preferido en la región puede simultáneamente cumplir con las funciones productivas y evitar la degradación del ecosistema.

4.2 Conclusiones generales de la tercera sección

Los capítulos de esta sección brindan en sus conclusiones lecciones importantes para el uso de SAF en restauración de ambientes degradados: desde situaciones de degradación intensas de larga historia como las presentes en regiones de Haití, pasando por sitios degradados en bosque seco en México, hasta casos en los cuales la meta es más bien frenar o evitar los procesos de degradación. Se destaca la necesidad de tener la información adecuada sobre las especies nativas a las que es conveniente domesticar para utilizarles en SAF con fines de restauración; la urgencia de utilizar los conocimientos locales de los pobladores en el diseño y manejo de los SAF; y la necesidad de evaluar parámetros que señalen el curso de la restauración, tales como la diversidad de especies asociadas en el SAF.

5. CUARTA PARTE: FUNCIONES AMBIENTALES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS SAF

Se presentan las conclusiones de ocho capítulos, dedicados a las funciones y servicios ecosistémicos de los SAF de adaptación y mitigación de cambio climático, conectividad entre fragmentos en paisajes fragmentados, y conservación de la biodiversidad.

5.1 Conclusiones de cada capítulo

En el **Capítulo 12 – Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático**, Montagnini presenta una revisión de la literatura que muestra cómo los SAF permiten adaptarse a la variabilidad climática debido a la diversificación de estos sistemas, disminuyendo riesgos y dando flexibilidad para cambiar hacia especies o variedades mejor adaptadas a las nuevas condiciones del clima. Los SAF con cultivos perennes tienen mayor potencial para la captura y almacenamiento de C que los SAF con cultivos anuales. Cuando son bien diseñados y manejados, los SSP pueden compensar emisiones de GEI y hasta convertirse en sistemas de C neutral. Se presentan ecuaciones alométricas para especies frecuentemente usadas en SAF en América Latina y el Caribe, así como modelos y herramientas para estimaciones del C total capturado o emitido por SAF y usados internacionalmente en proyectos SAF.

Los SAF, debido a sus funciones múltiples de contribuir a la seguridad alimentaria, diversificar la producción y evitar la deforestación, son instrumentos importantes para programas tales como los de REDD+, especialmente para las zonas de amortiguamiento o periferia de las reservas de bosque o de otra categoría de áreas protegidas (humedales, zonas costeras, páramos, sabanas naturales) que se quiere proteger. En el **Capítulo 13 – Un enfoque de paisaje a los esquemas REDD+: la experiencia de reducir emisiones en distintos usos de la tierra con productores de cacao en el Amazonas peruano**, Silva et al. presentan resultados de experiencias del proyecto REALU (Reduciendo Emisiones de Todos los Usos de la Tierra), implementado a través de un acuerdo entre el programa de colaboración ASB (Alternativas a Roce y Quema) e ICRAF (Centro Mundial Agroforestal). De la simulación de escenarios para diferentes usos de la tierra, los autores concluyen que el mayor potencial para reducir emisiones se obtiene si se interviene de forma integrada en todos los usos de la tierra de la finca. Proyectos REDD+ que tomen en cuenta el mosaico agrícola traen ventajas en cuanto a la posibilidad de trabajar en áreas degradadas y con procesos de deforestación,

pero esto es complejo, debido a las características socioeconómicas, las estrategias de vida, y las decisiones sobre los usos de la tierra de los productores. Asimismo, no existen sistemas de certificación de los distintos usos de la tierra en las fincas, lo que aumenta los costos de transacción.

Datos de estimación de carbono almacenado en especies nativas son relevantes para fomentar los mecanismos de conservación que incluyan compensación económica por fijación de carbono para proyectos REDD+ y otros. En el **Capítulo 14 – Biomasa y cantidad de carbono almacenado en *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, en un sistema agroforestal con *Ilex paraguariensis* A. St. Hil.**, López presenta resultados de estimaciones de carbono almacenado en fuste a diferentes edades de plantaciones de una especie nativa utilizada en SAF de yerba mate. Utilizando el modelo convencional de cálculo basado en estimaciones de volumen, y un modelo alométrico con diferentes coeficientes de forma del tronco, se llega a resultados que coinciden para ambos sistemas.

En los siguientes capítulos se trata de otros servicios ecosistémicos de los SAF, además de la captura de carbono. En el **Capítulo 15 – Servicios ambientales de sistemas silvopastoriles intensivos: mejoramiento del suelo y restauración ecológica**, Chará et al. presentan una reseña de beneficios de los SSPi basada en experiencias en Colombia y otros países, destacando el mejoramiento en la productividad del suelo, la conservación del agua y el reciclaje de nutrientes, los cuales resultan en mayores rendimientos, menores costos de producción, menor dependencia de insumos externos, menor vulnerabilidad al cambio climático y mayor control natural de plagas y enfermedades. Además, con la mayor eficiencia por unidad de superficie, se liberan áreas para la restauración ecológica. Los sistemas arbolados sirven como hábitat y son más permeables al tránsito de las especies silvestres, de manera que los SSPi son piezas importantes en procesos de restauración de paisajes y de recuperación de la biodiversidad en las áreas productivas. Existen barreras técnicas, culturales y financieras para la adopción masiva de estos sistemas. Los autores concluyen que la valoración de los beneficios y el reconocimiento por las externalidades positivas generadas por el sistema pueden contribuir a crear incentivos para estimular la implementación de estos sistemas en el futuro.

El cultivo del café, siendo tan generalizado a nivel mundial, tiene consecuencias importantes para la biodiversidad, la ecología de las fincas, y el bienestar del productor. En el **Capítulo 16 – Café en Colombia: servicios ecosistémicos, conservación de la biodiversidad**, Chait destaca los aspectos ecológicos que benefician a la productividad y al control de plagas, así como la captura de carbono y conservación de la biodiversidad, basado en literatura sobre el tema en SAF con café en Colombia y otros países. El aumento de los mercados diferenciados, ambientalmente conscientes abre la posibilidad de acoplar un valor añadido a las prácticas sostenibles. De esta manera, el café en SAF representa un potencial único para una política nacional que incentive métodos eficientes y sostenibles de la producción agrícola a gran escala de un producto global.

Los siguientes capítulos tratan el tema de las funciones de los SAF en favorecer la biodiversidad a nivel de finca y de paisaje. En el **Capítulo 17 – Los SAF como estrategia para favorecer la conectividad funcional del paisaje fragmentado**, Francesconi y Montagnini reseñan literatura sobre el uso de los SAF como herramientas para incrementar la conectividad funcional del paisaje agrícola y favorecer la conservación de especies de vida silvestre en Latinoamérica. Independientemente del tipo de SAF (cerca viva, bosque ribereño, huerto familiar, etc.), el nivel de cobertura vegetal es el factor más fuertemente asociado con el desplazamiento de especies en el paisaje agrícola. La condición de los SAF como usos de la tierra con fines agrícolas limita su condición como hábitat permanente para la mayoría de las especies de vida silvestre. Dada la gran variabilidad de prácticas

y de especies de interés, es preciso disponer de un mayor número de estudios experimentales para enfocar esfuerzos en la conservación de las especies más vulnerables.

Los huertos familiares o caseros, que suplen a la familia con alimentos además de productos para generar dinero en efectivo, son muy importantes en todo el mundo. Los huertos caseros agroforestales albergan una gran diversidad, con una estructura vertical y horizontal compleja que incluye plantas comestibles, medicinales, ornamentales y para otros propósitos, siendo reservorios importantes de (agro) biodiversidad local, con un rol considerable en la domesticación de especies nativas útiles. En el **Capítulo 18 – Biodiversidad, manejo de nutrientes y seguridad alimentaria en huertos caseros mesoamericanos**, Montagnini y Metzger reseñan información sobre estos aspectos. Mesoamérica fue el hogar de la antigua civilización Maya, así como de Aztecas, Chorotegas y Chibchas, cuyos descendientes todavía practican formas de agricultura tradicional y manejan huertos caseros, los cuales tradicionalmente han cumplido y todavía cumplen una función clave en aumentar la seguridad alimentaria en una región que sufre de problemas sociales y ambientales debido a la sobrepopulación y la pobreza rural. Estos servicios son particularmente válidos en los lugares más remotos tales como las reservas indígenas. Es conveniente que se retenga el conocimiento tradicional de las prácticas de manejo para asegurar la sostenibilidad de los huertos caseros.

Los huertos caseros proveen una variedad de productos que cubren gran parte de las necesidades de alimento de muchas comunidades rurales del Estado de Hidalgo, México. En el **Capítulo 19 – Riqueza de especies en huertos caseros de tres municipios de la región Otomí Tepehua, Hidalgo, México**, Santana et al. analizan la composición, riqueza de especies e importancia de estos SAF mediante entrevistas semiestructuradas y recorridos en los huertos. Se observó una predominancia en el cultivo de plantas medicinales, y los autores concluyen que los huertos caseros tienen un gran potencial para contribuir a la seguridad alimentaria familiar, la generación de ingresos y la permanencia de la cultura de la región.

5.2 Conclusiones generales de la cuarta sección

Esta sección, con sus reseñas bibliográficas sobre servicios ecosistémicos brindados por diferentes tipos de SAF, destaca los avances alcanzados en este tema en las recientes décadas. Por ejemplo, de estimaciones de captura de carbono por diferentes especies y SAF se ha pasado ya a la formulación de modelos para cálculos del papel de los SAF en mitigación del cambio climático. Existen actualmente ejemplos de SAF como estrategia de usos de la tierra en proyectos que incluyen REDD+. En materia de biodiversidad, de inventarios de especies en los SAF se ha llegado a estimar el movimiento de especies de vida silvestre en SAF que juegan un papel clave en brindar conectividad en paisajes fragmentados. En varios de estos temas se ha pasado del nivel de finca o parcela al nivel del paisaje.

Cabe recalcar también que los estudios sobre servicios ecosistémicos de SAF raramente han sido realizados de manera aislada, enfocados en un solo servicio, sino que más bien la mayoría de los estudios son holísticos, dirigidos a varios servicios a la vez, y considerando otras funciones tales como seguridad alimentaria, aumento de ingresos y disminución de riesgos debido a la diversificación de productos. Los SAF son parte clave del arsenal de alternativas y estrategias de uso de la tierra tendientes a favorecer la resiliencia de la agricultura ante disturbios y eventos tales como sequías, incendios y cambio climático, por ejemplo, los esquemas que usan SAF como un uso de la tierra “climáticamente inteligente.” Estas tendencias actuales favorecen la diseminación y financiamiento de SAF para objetivos de desarrollo internacional.

6. CONCLUSIONES GENERALES, NECESIDADES ACTUALES Y PERSPECTIVAS DE LOS SAF

Durante los últimos veinte años se ha progresado mucho en la investigación y aplicación de SAF en América Latina y el Caribe. Se ha logrado superar una falencia de tiempos anteriores, disponiendo actualmente de bastante información sobre los aspectos financieros que indican mayores ingresos y diversificación de productos, con ventajas tanto para pequeños como para medianos y grandes productores que utilizan SAF.

Los avances en conocimiento de las interrelaciones entre los componentes, un tema tradicional en investigación en SAF, son también considerables aunque todavía los resultados son en algunos casos dependientes del sitio. En muchas situaciones los SAF son manejados de manera orgánica, en gran parte debido a limitaciones de dinero para insumos, situación que se convierte en una valiosa oportunidad con la demanda creciente de productos naturales por las sociedades en la región y en el mundo. Es necesario aumentar la capacidad técnica en diseño y manejo de SAF orgánicos, para que los productos obtengan las certificaciones que redunden en mejor precio. Conviene lograr mayor conocimiento sobre especies acompañantes, así como otros detalles de manejo de los SAF orgánicos, y fomentar políticas adecuadas de incentivos y precios para compensar a los agricultores.

Con el avance de la degradación de ecosistemas forestales y agrícolas, los SAF son una herramienta clave para la restauración de estos ambientes, desde situaciones de degradación intensas hasta circunstancias en las que se pretende frenar o evitar los procesos de deterioro de los ecosistemas. Se destaca la urgencia de contar con información adecuada sobre especies nativas a las que es necesario domesticar para utilizar en SAF con fines de restauración; la importancia de utilizar los conocimientos locales de los pobladores en el diseño y manejo de los SAF; y la necesidad de evaluar parámetros que señalen el curso de la restauración, tales como la diversidad de especies asociadas en el SAF de que se trate.

Las reseñas bibliográficas sobre servicios ecosistémicos brindados por diferentes tipos de SAF destacan los avances que se han hecho en las recientes décadas en temas tales como: formulación de modelos para cálculos del papel de los SAF en la adaptación y la mitigación del cambio climático; aplicaciones de SAF como estrategias de usos de la tierra en proyectos REDD+; inventarios de diversidad de especies en los SAF; y el rol de los SAF en la conectividad en paisajes fragmentados para facilitar el movimiento de especies de vida silvestre. Los estudios sobre servicios ecosistémicos de SAF son generalmente holísticos, enfocados en varios servicios y considerando otras funciones tales como seguridad y soberanía alimentaria e hídrica, aumento de ingresos y disminución de riesgos debidos a la diversificación.

Los SAF juegan un papel básico en las tendencias internacionales actuales como parte de estrategias de uso de la tierra tendientes a favorecer la resiliencia de la agricultura ante disturbios y eventos tales como sequías, incendios y cambio climático. Esto es algo positivo para favorecer la diseminación y el financiamiento de los SAF para el desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ashton, M; Montagnini, F. 2000. (Eds.). The Silvicultural Basis for Agroforestry Systems. Boca Raton, Florida, CRC Press. 278 p.
- Buck, LE; Lassoie, JP; Fernandes, ECM. 1999. Agroforestry in sustainable agricultural systems. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press. 416 p.
- CATIE. 1995. Jaúl (*Alnus acuminata* ssp. *arguta*). Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Colección de Guías Silviculturales 18. Informe Técnico 248. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 40 p.
- CATIE. 1999. Agroforestería en el CATIE: bibliografía anotada. Serie Bibliotecología y Documentación Bibliografía 27. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 423 p.
- CATIE. 2001. Agroforestería en el CATIE: suplemento bibliográfico. Serie Bibliotecología y Documentación Bibliografía 28. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 171 p.
- Cordero, J; Dossier, D. (Eds.). 2004. Árboles de Centroamérica, un manual para extensionistas. Turrialba, Costa Rica, CATIE-OFI.
- Chará, J; Murgueitio, E. 2005. The role of silvopastoral systems in the rehabilitation of Andean stream habitats (en línea). Livestock Research for Rural Development 17(20). Disponible En: <http://www.lrrd.org/lrrd17/2/char17020.htm>
- Detlefsen, G; Somarriba, E. 2012. Producción de madera de sistemas agroforestales de Centroamérica. Manual Técnico 109. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 244 p.
- Dubois, JCL; Viana, VM; Anderson, AB. 1996. Manual Agroforestal para a Amazonia, vol. 1. Rio de Janeiro, Brasil, Rede Brasileira Agroforestal (REBRAAF). 228 p.
- Eco-Lógica. 2013. Servicios de Certificación (en línea). Disponible En: <http://www.eco-logica.com/servicios-de-certificación/>
- Escobar, A; Romero, E; Ojeda, A. 1996. *Gliricidia sepium*. El Matarratón, árbol multipropósito. Caracas, Venezuela, Fundación Polar, Universidad Central de Venezuela. 78 p.
- Evans, J; Turnbull, J. 2004. Plantation forestry in the tropics. The role, silviculture, and use of planted forests for industrial, social, environmental, and agroforestry purposes, 3rd ed. Oxford. England, Clarendon Press. 403 p.
- FAO. 2012. Moving forward with Climate-smart agriculture (en línea). Disponible En: www.fao.org/climatechange/climate-smart
- Garrity, DP. 2004. Agroforestry and the achievement of the Millenium Development Goals. Agroforestry Systems 61:5-17.
- Geilfus, F. 1989a. El árbol al servicio del agricultor: manual de agroforestería para el desarrollo rural. Vol 1: principios y técnicas. Santo Domingo, República Dominicana, ENDA (Environment and Development Action) - Caribe, CATIE. 657 p.
- Geilfus, F. 1989b. El árbol al servicio del agricultor: manual de agroforestería para el desarrollo rural. Vol 2: guía de especies. Santo Domingo, República Dominicana, ENDA - Caribe, CATIE. 778 p.

- Gómez, ME; Rodríguez, L; Murgueitio, E; Ríos, C; Molina, CH; Molina, E; Molina, JP. 1995. Mataratón (*Gliricidia sepium*). Pp. 14-66 *En: Árboles y Arbustos Forrajeros Utilizados en Alimentación Animal como Fuente Proteica*. Cali, Colombia, CIPAV.
- Humane Society International. 2010. Guía de Procedimientos de Certificación de Grupo de Productores Organizados (GPO) de Cacao Orgánico (en línea). San José, Costa Rica, Eco-Lógica. Disponible *En: <http://www.eco-logica.com/apoyo-al-productor>*
- Huxley, P. 1999. *Tropical Agroforestry*. Malden, Massachusetts, USA, Blackwell Science Ltd. 371 p.
- Lok, R. 1998. Introducción a los huertos caseros tradicionales tropicales. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 3. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 157 p.
- MacDicken, K; Vergara, N. 1990. (Eds). *Agroforestry: Classification and management*. New York, Wiley. 382 p.
- MacDicken, K. 1994. *Selection and Management of Nitrogen-Fixing Trees*. Morrilton, Arkansas, USA, Winrock International Institute for Agricultural Development.
- May, HM; Moreira Trovatto, CM. (Eds). 2008. *Manual Agroforestal para a Mata Atlántica*. Brasilia, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaría de Agricultura Familiar. 196 p.
- Méndez, E; Beer, J; Faustino, J; Otárola, A. 2000. Plantación de árboles en línea. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 1. 2^{da}. Edición. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 134 p.
- Montagnini, F. (et al.). 1992. *Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos*. 2da. ed. San José, Costa Rica, Organización para Estudios Tropicales (OTS). 622 p. Disponible *En: <http://www.ots.ac.cr/images/downloads/information-resources/library/sistemasagroforestales.pdf>*
- Montagnini, F. 2005. (Ed). *Environmental Services of Agroforestry Systems*. New York, USA, Haworth Press. 126 p.
- Montagnini, F; Francesconi, W; Rossi, E. (Eds.). 2011. *Agroforestry as a tool for landscape restoration*. New York, USA, Nova Science Publishers. 201 p.
- Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, J. (Eds.). 2009. *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo*. 2^{da} Ed. Cali, Colombia, Fundación CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Silvopastoriles de Producción Agropecuaria). 490 p.
- Muschler, RG. 2000. Árboles en cafetales. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 5. Materiales de Enseñanza no. 45. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 139 p.
- Nair, PKR. 1989 (Ed.). *Agroforestry systems in the tropics*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 672 p.
- Nair, PKR; Nair, VD; Kumar, BM; Showalter, JM. 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Advances in Agronomy* 108:237-307.
- NAS (National Academy of Sciences). 1979. *Tropical Legumes: Resources for the Future*. Washington, D.C., USA, National Academy Press. 332 p.
- Ong, CK; Huxley, P. (Eds.). 1996. *Tree-crop interactions. A physiological approach*. Wallingford, UK, C.A.B. International. 386 p.
- Palm, CA; Vosti, SA; Sanchez, PA; Ericksen, P. 2005. *Slash and burn agriculture: The search for alternatives*. New York, USA, Columbia University Press. 463 p.

- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 2. 2^{da}. Edición. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 275 p.
- Redondo Brenes, A; Montagnini, F. 2010. Forested habitats and human-modified land-use effects on avian diversity. New York, USA, Nova Science Publishers, Inc. 63 p.
- Reifsnyder, WE; Darnhofer, TO. (Eds.). 1989. Meteorology and Agroforestry. Nairobi, Kenya, International Council for Research in Agroforestry (ICRAF). 546 p.
- Ramakrishnan, PS. 1992. Shifting agriculture and sustainable development. Man and the Biosphere Series, vol. 10. New Jersey, Parthenon. 424 p.
- Schroth, G; da Fonseca, GAB; Harvey, CA; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. 2004. (Eds.). Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Washington, D.C., Island Press. 523 p.
- Shelton, M. 1996. El género *Leucaena* y su potencial para los trópicos. Pp 17-28. *En*: Clavero, T. (Ed.). Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical. Maracaibo, Venezuela, Fundación Polar, Universidad del Zulia, Centro de transferencia de tecnología en pastos y forrajes.
- Somarriba, E; Beer, J; Alegre Orihuela, J; Andrade, H; Cerda, R; Declerck, F; Detlefsen, G; Escalante, M; Giraldo, LA; Ibrahim, M; Krishnamurthy, L; Menan, V; Mora-Delgado, J; Orozco, L; Scheelje, M; Campos, JJ. 2012. Mainstreaming agroforestry in Latin America. Pp. 429-453 *In*: Nair, PKR; Garrity, DP. (Eds.). Agroforestry: the way forward. New York, USA, Springer, Advances in Agroforestry 9.
- Steppler, HA; Nair, PKR. (Eds.). 1987. Agroforestry - a decade of development. Nairobi, ICRAF. 335 p.
- Sullivan, GM; Huke, SM; Fox, JM. 1992. Financial and economic analyses of agroforestry systems. Paia, Hawaii. Nitrogen Fixing Tree Association. 312 p.
- Young, A. 1997. Agroforestry for soil management. 2nd. Edition. Wallingford, UK, C.A.B. International. 320 p.
- Zomer, RJ; Trabucco, A; Coe, R; Place, F. 2009. Trees on Farm: Analysis of Global Extent and Geographical Patterns of Agroforestry. ICRAF Working Paper no. 89. Nairobi, Kenya.
- Zomer, RJ; Trabucco, A; Coe, R; Place, F; van Noordwijk, M; Xu, JC. 2014. Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics. Working Paper 179. Bogor, Indonesia, World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program.



438

Café orgánico en SAF con *Terminalia amazonia*. Foto: Esteban Rossi.



ANEXO FOTOGRÁFICO SOBRE OTROS SAF DE AMÉRICA LATINA

Como se ha mencionado a lo largo de este libro, los Sistemas Agroforestales así como su modalidad con forrajes y animales (Sistemas Agrosilvopastoriles o Silvopastoriles) tienen incontables diseños, estructuras, arreglos, funciones y manejos en todo el mundo rural. Es imposible abarcar este universo en una sola publicación.

Pero con este Anexo, queremos compartir una serie de imágenes fotográficas de varias regiones de América Latina para despertar aún más en los lectores, el interés científico y técnico sobre los SAF, así como la admiración y el respeto que nos generan los innumerables y silenciosos innovadores que en todos los ecosistemas y en la más diversa cantidad de situaciones, combinan sus valores y conocimientos llenos de respeto a la naturaleza, para de esta manera integrar la producción agropecuaria y forestal tanto como los servicios ecosistémicos que el mundo necesita. El testimonio gráfico también podrá ser una prueba de que existe arte y belleza en esta creación colectiva de la gente del campo. En este Anexo presentamos un total de 20 fotografías que ilustran aspectos diferentes a lo ya desarrollado en el texto principal de este libro. Se muestran fotografías ilustrando SAF tradicionales o modernos con especies de uso múltiple no muy conocidas o difundidas, especies para SAF de alto potencial para usos en mercados locales o internacionales, así como innovaciones de SAF con propósitos de conservación de suelos o de lograr mayor conectividad en el paisaje agrícola.

Los Editores

Enero 2015.

A. Árboles de uso múltiple (AUM) especiales para conformar SAF



Foto 1. Ejemplar maduro de caoba, *Swietenia macrophylla* King, familia Meliaceae en el trópico húmedo de Panamá. La caoba es una especie amenazada en los ecosistemas de todo el continente por su madera preciosa de extraordinario valor económico. Los SAF ofrecen una gran oportunidad para asociar caoba y cedros y superar las barreras técnicas y financieras de las plantaciones homogéneas.

Foto: Carlos Pineda, Colombia.



Foto 2. Demostración de la forma de extraer el látex del tronco del árbol de caucho mediante incisiones con cuchillo ("rallado"); Villa del Paraíso – Museo del Siringal en Manaos, Amazonia (Brasil). El árbol de caucho, hule o siringa, *Hevea brasiliensis* Mull. Arg., de la familia Euphorbiaceae, es una especie de origen amazónico que con su látex abastece parte de la demanda mundial de caucho para llantas y gran cantidad de usos industriales y domésticos. Además de la plantación homogénea, esta especie se asocia muy bien en SAF transitorios o permanentes en el trópico húmedo.

Foto: Fernando Uribe T., CIPAV.



Foto 3. Tronco de cuipo o macondo, *Cavanillesia platanifolia* (Bonpl.) Kunth, familia Malvaceae. Árbol de extraordinario tamaño del norte de Suramérica y Mesoamérica que los campesinos han logrado asociar con cultivos de café, cacao, frutales tropicales y pastos en Colombia y Panamá. Finca Villa Elda en Quebrada Honda - Darién (Panamá). Foto: Fernando Uribe T., CIPAV.



Foto 4. Detalle de la arquitectura y floración del arboloco, *Montanoa quadrangularis* Sch. Bip. de la familia Asteraceae. Los conocimientos populares y las investigaciones científicas sobre esta especie endémica de Colombia y Venezuela respaldan su enorme potencial en SAF y SSP para los Andes tropicales y la producción rápida de madera para construcción. Los árboles crecen hasta una altura de 18 metros y se caracterizan por producir varios tallos rectos lo que favorece una producción sostenible de madera para construcción. La floración masiva es sincrónica y en el periodo de menor fotoperiodo (diciembre – enero). Finca Cien Años de Soledad, Antioquia (Colombia).
Foto: Zoraida Calle D., CIPAV.



Foto 5. Frutos de la palma asaí, naidí, huasaí o açai (en Brasil), *Euterpe oleracea* Mart., de la familia Arecaceae, en el mercado de Ver O Peso en la ciudad de Belén (Brasil). Llegan en cestas artesanales por los ríos, procedentes de SAFs y de la selva amazónica, cultivados y cosechados por indígenas y mestizos. El asaí, actualmente reconocido por su alto contenido de antioxidantes, por lo cual es apreciado en mercados internacionales, es una de las frutas más importantes de la región amazónica y la palmera puede asociarse bien con numerosos cultivos transitorios, perennes y con árboles.

Foto: Julián D. Chará, CIPAV.



Foto 6. SAF con palma de aceite en Cumaral (Meta), Orinoquia de Colombia. Aunque la palma de aceite, *Elaeis guineensis* Jack, de la familia Arecaceae, es de origen africano y se cultiva principalmente en monocultivo en grandes plantaciones en el sudeste de Asia y en el trópico de América, también es posible conformar con esta palma, SAF que generan producciones agroecológicas mixtas de vegetales y animales domésticos con elevada eficiencia energética y diversidad biológica. En la Reserva Natural Kallawirinae se investigan exitosamente varios SAF con palma de aceite, arbustos forrajeros como morera, *Morus alba* L., de la familia Moraceae, y el nacedero, *Trichanthera gigantea* Humb. & Bonpl. Nees, de la familia Acanthaceae, así como el cultivo del sacha inchi o maní amazónico, *Pulkenetia volubilis* L, de la familia Euphorbiaceae. La producción de gallinas en rotación por los cultivos y el empleo del aceite crudo de palma para producción de cerdos son una innovación en modelos para el trópico húmedo.

Foto: Germán Kimmich, INTA - Argentina.



Foto 7. Fruto de la palmera chontaduro, pupunha (en Brasil), cachipay, pijuayo, pejibaye, *Bactris gasipaes* Kunth., de la familia Arecaceae (arriba en la foto); y de castaña de Pará o nuez de Brasil, *Bertholletia excelsa* Bonpl., de la familia Lecythidaceae (más abajo en la foto), en el mercado de Ver O Peso, en la ciudad de Belén (Brasil). El *Bactris gasipaes* fue domesticado por los pueblos indígenas amazónicos y junto a la castaña de Pará y el marañón, merey o cajú, *Anacardium occidentale* L., de la familia Anacardiaceae (no se muestra en esta foto), ofrecen alimentos de elevado valor nutricional ricos en ácidos grasos, proteína, minerales y vitaminas, los cuales actualmente también se comercializan internacionalmente en mercados en los cuales se aprecian sus atributos saludables. En la región amazónica estas tres especies se producen en SAF que combinan varias especies, así como en parte de la selva, estas especies son componentes importantes en SAF multiestratos con manejo ancestral.

Foto: Enrique Murgueitio R., CIPAV.



Foto 8. Productos de medicina natural y condimentos de los SAF y la selva amazónica en el Mercado de Hierro de la ciudad de Belén, Pará (Brasil). Los huertos familiares, caseros o habitacionales en la región amazónica se caracterizan por la enorme diversidad de plantas que tienen muchos usos medicinales, gastronómicos y espirituales.

Foto: Fernando Uribe T., CIPAV.

B. Sistemas Agroforestales con componente agrícola de alto valor para el mercado y asociación con árboles para madera y sombrío



Foto 9. Sistema Agroforestal de yerba mate, *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., familia Aquifoliaceae, consociada con árboles de kiri, *Paulownia* ssp., familia Paulowniaceae, que produce madera clara para mercado nacional e internacional. Alem, Misiones (Argentina).
Foto: Walter F. Galindo, CIPAV.



Foto 10. Cultivo de té, *Camellia sinensis* (L.) Kuntze, familia Theaceae, en un arreglo con árboles de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br., familia Proteaceae, cultivados en líneas simples que sirven de defensa al cultivo contra los vientos, dan sombra ligera (tienen poda los primeros metros del fuste) y producen madera de buen valor económico. Alem, Misiones (Argentina).

Foto: Walter F. Galindo, CIPAV.



Foto 11. Cosecha parcial de un árbol de cacao, *Theobroma cacao* Lin., familia Malvaceae. Este cultivo de domesticación prehispánica ofrece numerosos ejemplos de SAF tradicionales y modernos con importantes atributos ambientales y destacados beneficios sociales. Finca El Porvenir, río Ariari (Meta) en la Orinoquia de Colombia. Foto: Zoraida Calle D., CIPAV.

C. Sistemas Agroforestales Pecuarios o Sistemas Agrosilvopastoriles que integran especies poco conocidas de buen potencial para uso agroecológico y comercial



Foto 12. Cultivo de yerba mate, *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., familia Aquifoliaceae, consociado con árboles de diferentes especies y pasto brizanta, *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster, el cual favorece la integración con ovinos de carne. Alem, Misiones (Argentina).
Foto: Walter F. Galindo, CIPAV.



Foto 13. Asociación de árboles para producción de la nuez de inchi o cacay, *Caryodendron orinoscense* H. Karts., de la familia Euphorbiaceae, con pastos para suelos ácidos, pasto amargo o braquiaria peludo, *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. y pasto brizanta, *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster. Esta nuez tiene demanda en el mercado internacional por la composición de ácidos grasos insaturados, proteína y algunos minerales. La integración silvopastoril permite el flujo de caja necesario para desarrollar el cultivo hasta sus etapas productivas. Finca La Carolina (Meta), región de la Orinoquia de Colombia.
Foto: Zoraida Calle D., CIPAV.



Foto 14. Sistema silvopastoril de yopo peludo o falso yopo, *Mimosa trianae* Benth., de la familia Fabaceae, árbol endémico de la Orinoquia de Colombia, y pasto amargo o braquiaria peludo, *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. El yopo tiene un crecimiento veloz, es capaz de fijar nitrógeno atmosférico en suelos ácidos y pobres en fósforo lo cual beneficia a las gramíneas; genera una sombra tenue que favorece el confort del ganado y su madera es muy apreciada en el mercado local como fuente de energía en el asado de las carnes tradicionales (“mamona llanera”). Finca La Carolina (Meta), región de la Orinoquia de Colombia.
Foto: Zoraida Calle D., CIPAV.

D. Sistemas Agroforestales con atributos de conservación y mejoramiento de suelos

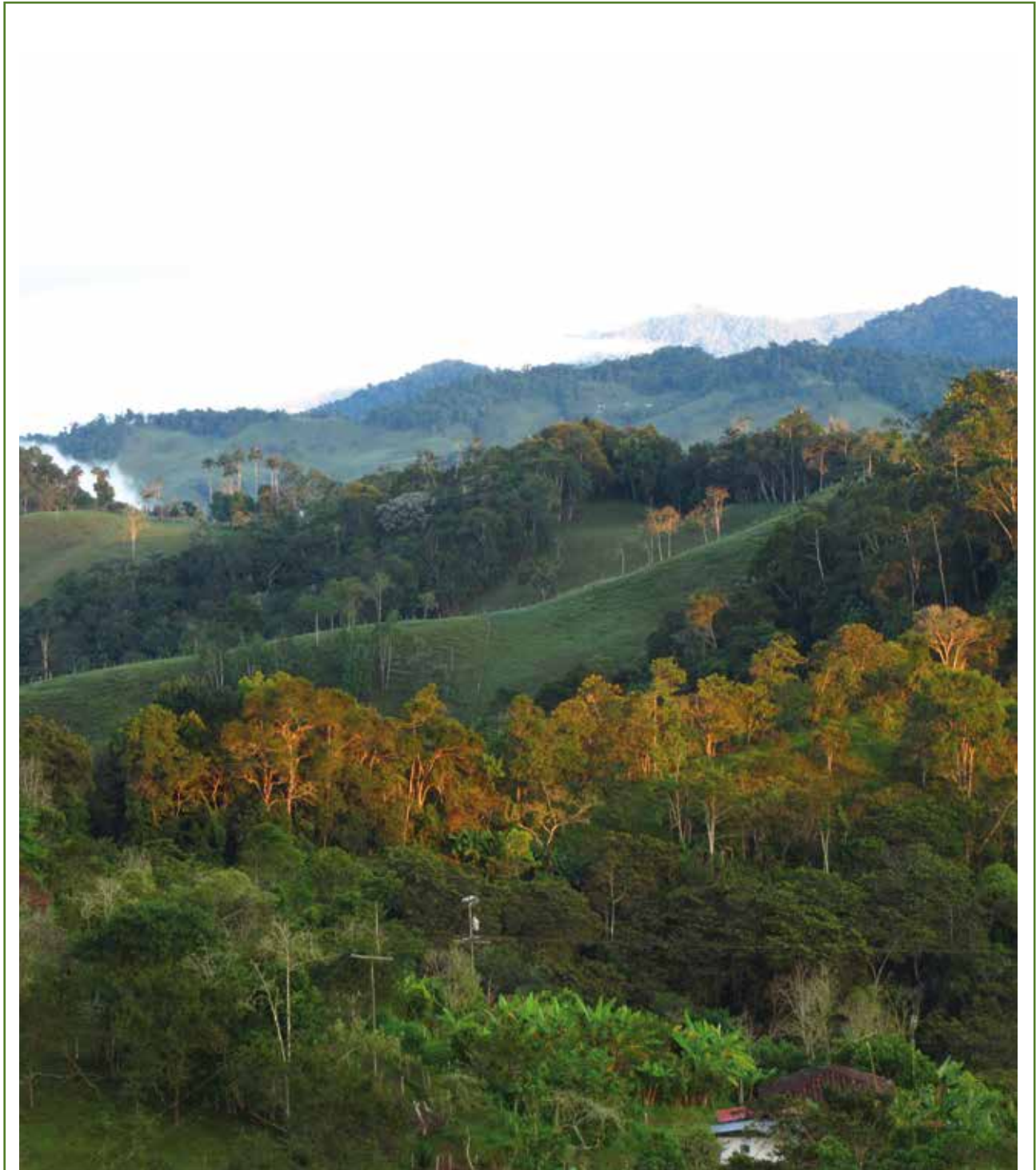


Foto 15. Paisaje en los andes occidentales de Colombia donde las fincas campesinas combinan SAF, SSP y bosques nativos que conservan más de 120 especies de árboles y arbustos de 35 familias botánicas, las más abundantes siendo las familias Laureaceae, Moraceae, Rubiaceae y Leguminoseae – Mimosaceae. Se destacan el nogal de cafetera, canalete, laurel en Centroamérica, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham, de la familia Boraginaceae; el balso(a) o tambor, *Ochroma lagopus* SW., de la familia Malvaceae; el arboloco, *Montanoa quadrangularis* Sch. Bip., de la familia Asteraceae y el chagualo o cucharo, *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze de la familia Primulaceae. Vereda Bellavista, El Dovio (Colombia).

Foto: Germán Kimmich, INTA – Argentina.



Foto 16. Cultivo de arracacha o apio blanco, *Arracacia xanthorrhiza* Bancr., de la familia Apiaceae, donde los campesinos investigan el papel agroecológico de surcos en curva de nivel con el arbusto botón de oro, *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray de la familia Asteraceae (planta con flores amarillas en las líneas), para control de erosión, abono verde y atrayente de entomofauna benéfica. Vereda Bellavista, El Dovio (Colombia).
Foto: Julián A. Giraldo, CIPAV.



Foto 17. Sistema de cultivo en líneas o callejones con árboles para abono verde en alta densidad, campo experimental de la Universidad Federal de Acre (Brasil). En la foto se ven líneas de inga (en América Central y gran parte de América del Sur), ingá (Brasil), guamo, guabo, *Inga edulis* Mart., especie ampliamente reconocida por su capacidad fijadora de nitrógeno, de la familia Fabaceae, y muy utilizada como AUM en diversos tipos de SAF y SSP. En los cultivos en callejones, en forma periódica toda la fitomasa verde se corta e incorpora al suelo para mejorar la producción agrícola, en este caso, en condiciones del bosque húmedo tropical de la Amazonia occidental de Brasil, caracterizada por suelos ácidos, pobres en materia orgánica y bases intercambiables.
Foto: Enrique Murgueitio R., CIPAV.

E. SAF complementarios, indispensables en funciones de conectividad de los agropaisajes



Foto 18. Corredor ribereño en las márgenes de un río en la Amazonia de Colombia. Se destaca la presencia dominante del carbón o suribio, *Pithecellobium longifolium* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Standl., de la familia Mimosaceae, un árbol multipropósito con un sistema radicular especializado que protege márgenes de ríos y humedales.

Los Corredores Ribereños o Riparios son SAF complementarios, es decir pueden estar asociados a diferentes tipos de usos de la tierra que incluyen SAF. Los corredores ribereños son fragmentos de bosques secundarios, vegetación nativa en restauración parcial o modelos combinados de los anteriores con árboles y arbustos frutales o maderables plantados vecinos a los ríos, microcuencas, manantiales y humedales. Cumplen servicios fundamentales de protección contra las inundaciones, reducen la entrada de sedimentos desde la matriz del paisaje y son uno de los usos de la tierra con mayores oportunidades para la biodiversidad en ambientes agropecuarios.

Foto: Enrique Murgueitio R., CIPAV.



Foto 19. Cerca viva de matarratón en Finca Chaquiral, Valle del Cauca (Colombia). Las cercas vivas son otro tipo de SAF complementario. Las cercas vivas son elementos lineales en los predios y agropaisajes donde se emplean árboles, arbustos y palmas. Pueden ser de uno o de varios estratos de vegetación y cumplen funciones de división entre las propiedades rurales y subdivisión de sistemas productivos. Cumplen asimismo importantes funciones en la conectividad de paisajes fragmentados. Además ofrecen bienes como la madera, fruta, miel y servicios ecosistémicos relacionados con la biodiversidad y la captura de carbono. El matarratón o madero negro, *Gliricidia sepium* Jack Steud., de la familia Papilionoideae es uno de los más empleados para cerca viva en el trópico seco y subhúmedo de América.

Foto: Enrique Murgueitio R., CIPAV.



452

Foto 20. Arboloco, *Montanoa quadrangularis* Sch. Bip. (Asteraceae) de cinco años en una cortina rompevientos. Los conocimientos populares y las investigaciones científicas sobre esta especie endémica de Colombia y Venezuela respaldan su enorme potencial en SAF y SSP para los Andes tropicales y la producción rápida de madera para construcción.



Las cortinas rompevientos son otro SAF complementario de gran importancia para la conectividad de paisajes fragmentados. Finca Cien Años de Soledad, Antioquia (Colombia).
Foto: Zoraida Calle D., CIPAV.

