

# AGROFORESTERÍA

Vol. 10 N°39-40 2003

EN LAS AMÉRICAS

[www.catie.ac.cr/revistas/](http://www.catie.ac.cr/revistas/)

## Producción y servicios ambientales en sistemas silvopastoriles



## Editorial

Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ecológicos  
 Muhammad Ibrahim; Celia Harvey .....4

## Agroforestales en América Latina

Enrique Murgueitio: creatividad en la investigación y difusión de la agroforestería participativa .....6

## Avances de investigación

### a) Caracterización de la cobertura arbórea en sistemas y paisajes silvopastoriles

Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica  
 Cristóbal Villanueva, Muhammad Ibrahim, Celia Harvey, Humberto Esquivel .....9

Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Río Frío, Costa Rica  
 Jaime Villacis; Celia Harvey; Muhammad Ibrahim; Cristóbal Villanueva .....17

Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica  
 Humberto Esquivel; Muhammad Ibrahim; Celia Harvey; Cristóbal Villanueva; Tamara Benjamin; Fergus Sinclair .....24

Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central  
 Celia A. Harvey; Cristóbal Villanueva; Jaime Villacis; Mario Chacón; Diego Muñoz; Marlon López; Muhammad Ibrahim; René Gomez; Rachel Taylor; Jorge Martínez; Alexander Navas; Joel Sáenz; Dalia Sánchez; Arnulfo Medina; Sergio Vilchez; Blas Hernández; Alexis Pérez; Francisca Ruiz; Fátima López; Ivan Lang; Stefan Kunth; Fergus L. Sinclair .....30

### b) Importancia de la cobertura arbórea en la productividad y rentabilidad de fincas ganaderas

Caracterización de sistemas de manejo nutricional en ganaderías de doble propósito de la región Pacífico Central de Costa Rica  
 Vilma A. Holguín; Muhammad Ibrahim; Jairo Mora; Augusto Rojas .....40

Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua  
 Katty Betancourt; Muhammad Ibrahim; Celia A. Harvey; Bernardo Vargas .....47

Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica  
 José A. Gobbi; Francisco Casasola .....52

### c) Conocimiento local y toma de decisiones de los ganaderos sobre la cobertura arbórea

Conocimiento local de la cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica  
 Diego Muñoz; Celia A. Harvey; Fergus L. Sinclair; Jairo Mora; Muhammad Ibrahim .....61

Estudio de las decisiones claves que influyen sobre la cobertura arbórea en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica  
 Cristóbal Villanueva; Muhammad Ibrahim; Celia Harvey; Fergus Sinclair; Diego Muñoz .....69

### d) Biodiversidad en paisajes ganaderos

Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica  
 Giovanni Cárdenas; Celia A. Harvey; Muhammad Ibrahim; Bryan Finegan .....78

Composición de la comunidad de aves en cercas vivas del Río Frío, Costa Rica  
 Ivan Lang; Lorraine H.L. Gormley; Celia A. Harvey; Fergus L. Sinclair .....86

Abundancia y diversidad de escarabajos coprófagos y mariposas diurnas en un paisaje ganadero en el departamento de Rivas, Nicaragua  
 Blas Hernández; Jean-Michel Maes; Celia A. Harvey; Sergio Vilchez; Arnulfo Medina; Dalia Sánchez .....93

### e) Modelaje de cobertura arbórea, biodiversidad y productividad en paisajes ganaderas

Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central  
 Lorraine H.L. Gormley; Fergus L. Sinclair .....103

## Cómo hacerlo

¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles?  
 Hernán J. Andrade; Muhammad Ibrahim .....109

¿Cómo medir la diversidad de aves presentes en los sistemas agroforestales?  
 Rachel Taylor .....117

Publicaciones agroforestales .....124

Reseñas agroforestales .....126

Agenda agroforestal .....127

Biblioteca Comunitaria  
 OATON - HER - CATE  
 01 JUL 2007  
 RECIBIDO  
 Turincho, Costa Rica

Agroforestería en las  
 Américas  
 Vol. 10 N° 39-40, 2003



**AGROFORESTERÍA**  
 EN LAS AMÉRICAS



Ganado aprovechando la sombra de los árboles en un potrero en Cañas, Costa Rica (p. 29)



Productora afiliada al proyecto silvopastoril del GEF recibiendo el pago por servicios ambientales (p. 57)



*Tyrannus melancholicus*. Nombres comunes: pecho amarillo o tirano tropical (p. 79)

## **Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ecológicos**

**E**n América Central, existe un interés creciente por el diseño y manejo de los sistemas silvopastoriles desde un enfoque holístico, con el fin de mejorar y diversificar la productividad de fincas ganaderas, asegurar su sostenibilidad y brindar servicios ecológicos tales como la conservación de fuentes de agua, conservación de biodiversidad y secuestro de carbono. Varios factores han contribuido a este interés. Primero, el hecho de que el uso de suelo para pasturas en la región sea de alrededor del 40% significa que cualquier mejoramiento en estos sistemas probablemente tendrá un efecto significativo en la productividad y sostenibilidad local y regional; por lo tanto, los sistemas de producción ganadera deben ser una prioridad en la concentración de esfuerzos para la conservación y el desarrollo rural. Segundo, varios estudios han mostrado que la adopción de sistemas silvopastoriles genera efectos positivos en la producción animal y la productividad de las fincas, además de proveer otros productos maderables y no maderables para los productores. Finalmente, existen muchas investigaciones que indican que el mantenimiento de cobertura arbórea en fincas ganaderas contribuye al secuestro de carbono, la provisión de hábitat y recursos para la fauna silvestre y el mantenimiento de funciones hidrológicas dentro de los paisajes agropecuarios.

A pesar de que los sistemas silvopastoriles tienen el potencial de mejorar la productividad de fincas y la provisión de servicios ecológicos a los ecosistemas, estos dos objetivos no siempre son compatibles, porque existen tanto interacciones positivas como negativas entre los componentes. Por ejemplo, el aumento de la densidad y diversidad de la cobertura arbórea en las fincas beneficiará indudablemente la conservación de plantas y animales, pero podría afectar negativamente la producción de pasto por exceso de sombra de los árboles o si las especies son tóxicas para el ganado. Por otro lado, las podas frecuentes de las cercas vivas benefician la producción de pastos por la reducción de sombra, pero

probablemente tendrán un impacto negativo en las aves que utilizan las cercas vivas para movilizarse y/o alimentarse. En consecuencia, para capitalizar los posibles beneficios de la cobertura arbórea es importante conocer y entender mejor sus patrones de distribución dentro de los paisajes ganaderos, sus funciones productivas y ecológicas a nivel de finca y las interacciones entre dichas funciones.

En esta edición especial de la revista, se presentan los resultados de dos importantes proyectos que están explorando las relaciones entre la cobertura arbórea, la productividad y los servicios ecológicos a nivel de fincas y paisajes ganaderos. El primer proyecto —FRAGMENT, financiado por la Unión Europea— es un proyecto de investigación, cuyo título es “Desarrollo de Métodos y Modelos para Evaluar el Impacto de los Árboles en la Sostenibilidad de la Productividad de Fincas y la Conservación de la Biodiversidad Regional”, y se está llevando a cabo en Costa Rica y Nicaragua. Este proyecto involucra seis instituciones (CATIE, Universidad de Gales - Bangor, Universidad de Göttingen, Nitlapán, Programa Regional de Manejo y Conservación de Vida Silvestre de la UNA y Fundación Cocibolca). El segundo proyecto —“Enfoques Silvopastoriles para el Manejo de Ecosistemas”— involucra al CATIE, CI-PAV, Nitlapán y el Banco Mundial, y está financiado por el GEF (Fondo Global Ambiental). Este es un proyecto de desarrollo, cuyo principal objetivo es conocer el funcionamiento de ecosistemas de pasturas degradadas en Costa Rica, Nicaragua y Colombia para promover la adopción de sistemas silvopastoriles. El tema central de ambos proyectos es entender y evaluar las funciones de la cobertura arbórea en la productividad de la finca, la generación de ingresos y la provisión de servicios ecológicos. Otros aspectos comunes de los dos proyectos son sus enfoques interdisciplinarios, multiinstitucionales y regionales (que facilitan la integración de datos y la generalización de los resultados a otros países).

Los artículos presentes en esta edición están organizados en cinco secciones principales. Primero, se presentan cuatro estudios (Villanueva *et al.*, Villacis *et al.*, Esquivel *et al.* y Harvey *et al.*) que caracterizan los patrones de cobertura arbórea a nivel de finca y exploran los factores que influyen en las diferencias de cobertura en potreros, fincas y paisajes. Estos estudios indican que los árboles dispersos y las cercas vivas son elementos sobresalientes en las fincas ganaderas, aunque su densidad y diversidad varían ampliamente entre sitios debido a diferencias en el tipo de sistema de producción y el manejo de pasturas.

Luego, se explora la importancia de la cobertura arbórea en la productividad de finca a través de beneficios como forraje, sombra, madera y otros productos. Holguín *et al.* documentan las prácticas alimentarias utilizadas en sistemas de ganadería de doble propósito en la región Pacífico Central de Costa Rica y sus relaciones con el mejoramiento de los indicadores de productividad, principalmente en la época seca. Betancourt *et al.* muestran el efecto positivo de la cobertura arbórea sobre la producción de leche en Matiguás, Nicaragua y, por último, Gobbi y Casasola examinan, por medio de un modelo de análisis *ex-ante* de beneficio-costos, la factibilidad financiera de invertir en diferentes tecnologías silvopastoriles.

La tercera sección explora cuál es el conocimiento de los ganaderos acerca de la cobertura arbórea que existe en sus fincas y cómo toman las decisiones que la afectan. Muñoz *et al.* encontraron que los productores ganaderos en Costa Rica tienen un conocimiento amplio y profundo de diferentes especies arbóreas y sus interacciones con otros componentes en los sistemas de producción (e.g. suelos, animal y pasto), y que este conocimiento es particularmente detallado para especies multipropósito. En contraste, Villanueva *et al.* identifican las principales actividades del manejo que afectan la cobertura de árboles (la mayoría la reducen) y documentan los factores que influyen en estas decisiones.

En la cuarta sección, se presentan resultados sobre la importancia de la cobertura de árboles en finca como hábitat, recursos y corredores para especies animales.

Cárdenas *et al.* comparan la abundancia, riqueza y diversidad de especies de aves en diferentes tipos de cobertura arbórea (cercas vivas, árboles en potreros, charrales, bosque riparios y bosques secundarios). Hernández *et al.* evaluaron los patrones de escarabajos y murciélagos en estos mismos tipos de hábitats. Por otro lado, Lang *et al.* llevaron a cabo un análisis más profundo sobre la importancia de las cercas vivas como hábitat para los pájaros y muestran que el manejo de las cercas vivas (con poda o sin poda) puede tener un efecto significativo en la abundancia y diversidad de la avifauna.

En la sección final, se brinda información sobre métodos y modelos novedosos para la evaluación de funciones productivas y de servicios de ecosistemas en fincas ganaderas. Gormley y Sinclair elaboran sobre el desarrollo de un modelo participativo novedoso que integra datos productivos y ecológicos, lo cual permite a los tomadores de decisiones (finqueros y políticos) explorar el impacto de los cambios de la cobertura arbórea sobre la productividad y la conservación de la biodiversidad. Andrade e Ibrahim proveen detalles sobre cómo monitorear el carbono secuestrado en sistemas silvopastoriles, mientras que Taylor discute sobre la mejor manera de medir la diversidad de aves en estos sistemas.

En conjunto, este número ofrece nuevas perspectivas sobre la importancia de la cobertura arbórea desde una visión holística, que incluye las funciones productivas y ecológicas, y señala las oportunidades y desafíos del futuro para el esfuerzo de crear y manejar paisajes ganaderos de una manera sostenible. Deseamos que estos artículos estimulen discusiones, colaboración e investigaciones futuras con otros colegas y proyectos que trabajen tópicos similares, y esperamos compartir más información sobre ambos proyectos en próximas ediciones.

Celia A. Harvey y Muhammad Ibrahim  
Grupo Ganadería y Medio Ambiente,  
Departamento de Agricultura y Agroforestería  
CATIE

## *Agroforestales en América*

# **ENRIQUE MURGUEITIO: creatividad en la investigación y difusión de la agroforestería participativa**

**ENRIQUE MURGUEITIO** nació en Cali, Colombia, donde hizo sus estudios primarios y secundarios en el colegio Berchmans; luego estudió en Manizales, en la Universidad de Caldas, y obtuvo el grado de Médico Veterinario Zootecnista. Desde sus épocas de estudiante, empezó a interesarse en sistemas de crianza de los animales domésticos que conciliaran los objetivos de producción y conservación de los recursos naturales. Esto lo llevó a formar parte, a finales de los 80, del grupo de empresarios y técnicos que conformaron el Centro para la Investigación de Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), institución reconocida en América Latina como una de las organizaciones promotoras de sistemas en los cuales la producción animal, forestal y agrícola conviven armoniosamente.

El espíritu emprendedor de Murgueitio le ha permitido participar en la promoción de innumerables proyectos en diferentes países de América tropical, además de publicar más de 50 artículos científicos en revistas internacionales, libros e Internet, así como materiales de capacitación dirigidos a productores. Actualmente, es miembro del comité de dirección del proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas, el cual es financiado por el GEF a través del Banco Mundial y manejado por CATIE con el apoyo CIPAV en Colombia y Nitlapán en Nicaragua. Dicho proyecto pretende promover los sistemas silvopastoriles mediante el pago de un incentivo a los servicios ambientales, principalmente almacenamiento de carbono y conservación de la biodiversidad; además, busca respuestas sobre el efecto de estímulos externos o incentivos inductores del cambio: el pago de servicios ambientales y la asistencia técnica. En agosto de 2003, Jairo Mora, editor invitado de este número de la RAFA, sostuvo una interesante entrevista con Murgueitio, de la cual transcribimos algunos apartes.



Enrique y sus hijos paseando bajo de la sombra de los árboles en un potrero del Valle del Cauca, Colombia (CIPAV 2004)

**Jairo Mora:** *¿Considera usted que los sistemas agroforestales (SAF) son una alternativa u opción complementaria para la agricultura convencional?*

**Enrique Murgueitio:** Sí, considero que los SAF son una alternativa; especialmente para los sectores campesinos, donde las condiciones de la agricultura intensiva no pueden ser sostenibles debido a la alta dependencia de insumos externos. Allí hay una oportunidad muy importante, porque pueden contribuir a salvar o restaurar ecosistemas frágiles, principalmente donde hay alta intervención humana; quizás es la única alternativa posible. En todo el continente americano hay regiones muy grandes que tienen serios problemas y limitantes, que hacen imposible cualquier actividad agrícola convencional que no se guíe por los principios ecológicos que tienen los SAF.

**JM:** *¿Usted podría citar algunos ejemplos donde se estén usando SAF exitosos?*

**EM:** Sí, los ejemplos son bien conocidos, pero principalmente café y cacao son los más desarrollados en la región y en los cuales se ha evidenciado plenamente su potencial, pero también los sistemas silvopastoriles en muchas regiones de Colombia se están convirtiendo en un buen ejemplo. Por otra parte, también hay arreglos novedosos que podrían desarrollarse aún más si se tuviera una concepción un poco diferente de lo que son las plantaciones; por ejemplo, con la palma de aceite, el cultivo del caucho y los maderables se podrían hacer unos SAF muy interesantes que podrían ampliar ese espectro de los desarrollos que ya tenemos.

**JM:** *¿Cómo ve usted el desarrollo de la agroforestería en Colombia?*

**EM:** La agroforestería en Colombia tuvo momentos buenos en el pasado; sin embargo, ha sufrido un retroceso fuerte en los últimos treinta años, con la masificación de la revolución verde en los distintos cultivos, pero en especial en el café, el cacao y los pastos mejorados bajo una cultura que ha descuidado el papel de los árboles. No obstante, la agroforestería se está retomando ahora en algunos sectores, especialmente en las áreas de ecosistemas frágiles. Hay nuevos desarrollos con frutas no tradicionales, especialmente en la región amazónica y en la zona de selva húmeda chocoana, y definitivamente lo que tendrá mayor impacto a la escala del país es la agroforestería pecuaria, dado el tamaño que

tienen los sistemas de pastoreo en el 80% de los agroecosistemas colombianos.

**JM:** *Ya que menciona “agroforestería pecuaria”, ¿podría ampliar un poco más sobre este concepto?*

**EM:** El concepto es que la ganadería es más que un sistema de producción: también es una forma de ocupación del territorio y de utilización del paisaje. La agroforestería pecuaria es un menú amplio de sistemas donde interactúan pasturas, animales, árboles y arbustos, y sirve para manejar los paisajes y transformarlos en forma positiva para el ambiente, el productor y la sociedad. Las combinaciones pueden hacerse en forma creativa y son válidas para distintas especies animales domésticas e incluso silvestres.

**JM:** *¿Considera usted que los SAF son aceptados entre los ganaderos colombianos?*

**EM:** Depende de las regiones y de los arreglos. En algunas regiones del trópico seco, donde los ganaderos han sufrido mucho más el problema del estrés climático en los animales y problemas de degradación de las tierras, hay una tendencia a que estos sistemas sean aceptados en forma más rápida. Por otra parte, el desarrollo de sistemas modernos, o lo que llamamos sistemas de corte y acarreo, que es donde realmente se aprovecha al máximo la producción de biomasa, la integración de especies arbustivas y árboles con gramíneas está avanzando muy rápido en los últimos años a escala de fincas campesinas. Es interesante destacar que muchas instituciones y organizaciones ya tienen a los SAF pecuarios dentro de su agenda de apoyo a la investigación y la transferencia tecnológica, de tal manera que en los próximos años habrá mayor aceptación.

**JM:** *En estos sistemas campesinos de producción, ¿cree usted que la agroforestería puede ser un camino para aliviar la pobreza?*

**EM:** Sí, estoy convencido de eso, porque la pobreza y la degradación ambiental van siempre de la mano y en el sector campesino e indígena con mayor relevancia. Los SAF generan productos y mejoran la eficiencia y la calidad de las actividades productivas y además representan prácticas de conservación del suelo y del agua muy adecuadas para estas condiciones. Estos sistemas están contribuyendo a la protección de los recursos naturales, lo que a su vez es una fuente importante de capitalización del campesino.

**JM:** *Eso significa que, además de mitigar pobreza, estos sistemas generan servicios ambientales. ¿Cuáles considera usted que son los servicios ambientales que se generan en los SAF?*

**EM:** Definitivamente sí, estos sistemas prestan servicios ambientales y existe una serie de categorías. Su magnitud depende del tipo de sistema agroforestal. En general, podemos decir que en las zonas de montaña, y en particular en la zona Andina de Colombia, los bancos multiestratos y los sistemas silvopastoriles para ramoneo con alta intensidad de árboles han dado buenos resultados. Su mayor contribución es la regulación hídrica y la prevención de desastres por erosión severa y, en menor proporción, la conservación de la biodiversidad asociada a los paisajes rurales y la captura de carbono. Este último es un servicio que ha empezado a estudiarse en los últimos años. Bajo otras condiciones, por ejemplo en el trópico bajo, quizás la conservación de suelos sea uno de los servicios más interesantes que aporta el sistema. El planteamiento que hacemos es que un manejo integrado de paisajes, combinando distintos tipos de SAF e incluyendo otros usos de la tierra, como sistemas de bosques y restauración de áreas degradadas con vegetación y corredores riparios, puede ofrecer un menú de servicios ambientales más amplio e interesante. En este escenario se combinarían tres y cuatro servicios ambientales, incluyendo la valoración del paisaje y atributos de belleza escénica.

**JM:** *¿Cuáles cree usted que son los avances de la legislación colombiana en materia de reconocimiento de servicios ambientales a SAF?*

**EM:** En Colombia, los avances han sido bastante lentos y no son los que quisiéramos. Por ejemplo, el Certificado de Incentivo Forestal, que es un incentivo que existe en Colombia, no es elegible para la mayoría de los SAF y solo muy recientemente el cacao ha recibido la elegi-

bilidad para facilidades de crédito junto a la palma de aceite y el caucho. Los sistemas silvopastoriles siguen huérfanos en este aspecto. Estamos actualmente colaborando con el Instituto Alexander von Humboldt para que se incluyan algunos SAF en los incentivos a la producción agroecológica, pero todo es incipiente aún.

**JM:** *Finalmente, ¿podría comentarnos algo sobre el Proyecto Silvopastoril GEF que se está desarrollando en Colombia en coordinación con el CATIE?*

**EM:** En Colombia, este proyecto está localizado en el Río La Vieja, entre el Departamento Quindío y el Valle del Cauca. Esta región se seleccionó por ser de pequeños productores cafeteros, cuyas fincas en pocos años fueron convertidas a sistemas de ganadería con una degradación muy rápida de los suelos. Los avances del proyecto son significativos, ya que el pago por servicios ambientales en forma directa a los productores es una novedad en el país. Además, tenemos avances en el monitoreo de la calidad de agua en las microcuencas dominadas por la ganadería y en materia de política se está incidiendo en tomadores de decisiones regionales con el acompañamiento de la Corporación Autónoma Regional del Quindío. En este sentido, tenemos guías ambientales y una combinación de pautas y normas para la ganadería en la región, actividades que se complementan con el apoyo que damos a los procesos de capacitación y asistencia técnica a los productores. También se ha iniciado el monitoreo de biodiversidad en fincas ganaderas con el apoyo de CALIDRIS (organización no gubernamental especializada en ornitología) y tenemos vínculos estrechos con el Instituto Alexander von Humboldt, el cual maneja el Proyecto Andes, también financiado por el Banco Mundial y el GEF, de cuyas experiencias estamos aprendiendo bastante sobre temas complementarios que contribuirán a desarrollar la agroforestería en América tropical.

## Avances de investigación

# Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica

Cristóbal Villanueva<sup>1</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>2</sup>; Celia Harvey<sup>2</sup>; Humberto Esquivel<sup>3</sup>

**Palabras claves:** árboles en pasturas; cobertura arbórea; densidad de árboles en pasturas; tipologías de fincas ganaderas; uso del suelo.

### RESUMEN

Se llevó a cabo la tipificación de los sistemas de producción bovina y la caracterización del componente arbóreo en pasturas (árboles dispersos y cercas vivas) en la zona de Cañas, Costa Rica. Los sistemas de producción bovina encontrados fueron producción de carne, mixto (ganadería de carne con cultivos) y doble propósito (dedicados a la producción de carne y leche) (64, 21 y 15% de las fincas, respectivamente). Los árboles dispersos y las cercas vivas en pasturas fueron encontrados en el 93 y 88 % de las fincas, respectivamente. Las pasturas fueron el uso del suelo de mayor relevancia en los sistemas de producción de carne (80-81%). En los sistemas de producción mixta, las pasturas, charrales y cultivos agrícolas (47, 25 y 11%, respectivamente) fueron los usos más importantes del suelo. Se registraron 5896 árboles dispersos en 801 ha de pasturas. Las especies más frecuentes fueron *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora*, *Acrocomia aculeata* y *Byrsonima crassifolia*, las cuales conforman el 55% del total. En cercas vivas, se reportaron 20974 individuos en 84 km. Las especies más abundantes fueron *Bursera simaruba* y *Pachira quinata*, los cuales representan el 82% del total. La densidad y cobertura de copa total no mostraron diferencia significativa ( $P > 0,05$ ) entre sistemas de producción, variando de 34,9 a 38,5 árboles ha<sup>-1</sup> y 11,7 a 21,8%, respectivamente.

**Cattle farms typology and tree cover on pastureland in the dry tropic zone of Costa Rica**

**Key words:** Cattle farm typologies; land use; tree cover; trees in pastures.

### ABSTRACT

The object of this study was to typify bovine production systems and characterize the tree cover on pastureland (dispersed trees and live fences) in Cañas, Costa Rica. The bovine production systems found were meat, mixed and dual purpose (64, 21 and 15%, respectively). Dispersed trees and live fences on pastureland were found in 93 and 88% of the farms, respectively. Pasture was the most relevant land use in the meat production systems (80–81%), but in the mixed production systems pasture, charral and agriculture crops were the most important (47, 25, and 11%, respectively). On pastureland, 5896 dispersed trees were registered in 801 ha. The most common species were *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora*, *Acrocomia aculeata* and *Byrsonima crassifolia*, comprising 55% of total trees. Regarding live fences, 20974 individuals were registered in 84 km; the most predominant species were *Bursera simaruba* and *Pachira quinata* (85% of total trees). The total density and total tree crown cover did not show a significant difference between production systems ( $P > 0.05$ ). The values varied between 34.9 and 38.5 trees ha<sup>-1</sup> for density and 11.7 and 21.8 % for crown cover.

## INTRODUCCIÓN

La mayor tasa de deforestación en América Central ocurrió entre los años 1950 y 1986, siendo la ausencia de políticas apropiadas de tenencia y usos de la tierra, facilidad de créditos a la ganadería y altos precios de la carne los principales factores asociados con este cambio. En los últimos 40 años, el área en pasturas en Centroamérica ha aumentado de 3,5 a 9,5 millones de hectáreas y el inventario de ganado bovino ha experimentado un aumento de 4,2 a 9,6 millones de cabezas. Esta expansión

ha sido asociada a la pérdida y fragmentación de bosques y a la creación de paisajes con mosaicos de monocultivos de pastos, cultivos agrícolas y fragmentos de bosques (Kaimowitz 2001). A la vez, más del 50% de las pasturas se encuentran en un estado avanzado de degradación (Szott *et al.* 2000).

Los árboles en pasturas desempeñan un papel muy importante en la productividad de las fincas, ya que proveen

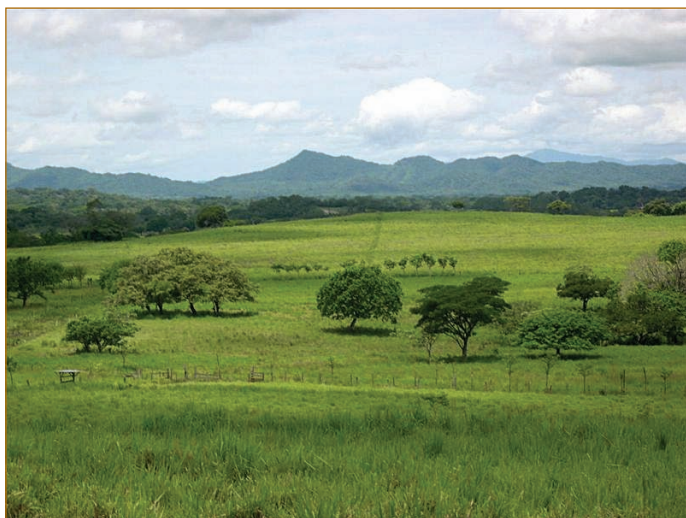
<sup>1</sup> Investigador en sistemas silvopastoriles CATIE/FRAGMENT. Correo electrónico: cvillanu@catie.ac.cr (autor para correspondencia).

<sup>2</sup> Profesores investigadores, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correos electrónicos: mibrahim@catie.ac.cr; charvey@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Doctorando en Agroforestería, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: hesqui@catie.ac.cr



productos y funciones valiosas, como madera y sombra, y son fuente de alimento para el ganado (Harvey y Haber 1999, Zamora *et al.* 2001). La presencia de sombra de árboles ha provocado incrementos de alrededor de un 13% en la producción de leche de vacas Jersey, en comparación con las manejadas sin sombra en la zona del trópico húmedo de Costa Rica (Souza de Abreu 2002) donde, además, las cercas vivas enriquecidas con especies maderables pueden generar aumentos del 15% en el ingreso de las fincas lecheras (Holmann *et al.* 1992). Los árboles en pasturas son capaces de brindar beneficios ecológicos, como la contribución a conservar hábitats para especies animales, importantes en la dispersión de semillas arbóreas para la regeneración natural, y funcionan como corredores biológicos (Harvey y Haber 1999). Además, las especies leñosas pueden contribuir a la restauración de pasturas degradadas (Szott *et al.* 2000), como sumideros de carbono (Kaninnen 2001) y como alternativa estratégica para reducir la presión sobre los bosques (Kaimowitz 2003).



Árboles dispersos en potreros en Cañas, Costa Rica (proyecto FRAGMENT).

Los estudios sobre árboles en pasturas se concentran generalmente en árboles dispersos. Sin embargo, existe un efecto de los árboles localizados en las cercas vivas. Algunos estudios en fincas ganaderas del trópico húmedo de Costa Rica reportan una densidad de árboles dispersos en pasturas de 12 a 22 árboles  $\text{ha}^{-1}$  (Souza de Abreu *et al.* 2000), mientras que en el trópico seco de Nicaragua se registraron densidades de 14 a 82 árboles  $\text{ha}^{-1}$  (Zamora *et al.* 2001). Por otro lado, Morales y Kleinn (2001) registraron una densidad de 19 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , que corresponde a árboles dispersos y en cercas vivas en el trópico seco de Costa Rica. Los factores de

mayor relevancia en la densidad de árboles en pasturas son el control de malezas y el uso anterior de los suelos (Camargo *et al.* 2000). Esta situación refleja que es importante considerar de manera integral el componente arbóreo en fincas ganaderas, tomando en cuenta su manejo, composición, abundancia, diversidad y estructura. Desde esta perspectiva, se deben diseñar estrategias que conduzcan a un aumento de la cobertura arbórea, acordes con las condiciones biofísicas y socioeconómicas de los ganaderos, en combinación con un incremento en la productividad. Los objetivos principales del presente estudio fueron la tipificación de los sistemas de producción bovina y la caracterización del componente arbóreo en pasturas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este estudio fue conducido de febrero a agosto del 2002 en Cañas y Abangares, Guanacaste, Costa Rica. El área de influencia fueron 10000 ha seleccionadas por el Proyecto FRAGMENT (10°19,2'N y 85°4,8'O; 80-250 msnm). La zona de vida pertenece a un Bosque Tropical Seco (Holdrige 1978); la temperatura media anual es de 27,6 °C y la precipitación media de 1544 mm  $\text{año}^{-1}$ , distribuida de mayo a octubre.

### Tipología de fincas

Se seleccionaron al azar 53 fincas de la base de datos del proyecto TROF (*Tree Resources Outside Forests*), las cuales debieron tener ganadería activa y anuencia del propietario para brindar información. Se verificó el área de la propiedad y se encuestó al propietario o administrador en cada finca seleccionada, donde se recopiló información sobre usos del suelo, mano de obra, sistema de producción, composición y tamaño del hato bovino, sistema de alimentación, tipo y manejo de pasturas, especies y usos de los árboles en pasturas y cercas vivas. De acuerdo con la información recolectada, los sistemas de producción prevalecientes fueron: carne (64%), mixtos (21%) y doble propósito (15%).

### Usos del suelo y caracterización de árboles en pastura y cercas vivas

Se seleccionaron 16 fincas, distribuidas en cuatro grupos: 1) cuatro fincas pequeñas con sistema de producción de carne (1–50 ha); 2) cinco fincas medianas con sistema de producción de carne (51–100 ha); 3) tres fincas grandes con sistema de producción de carne (>101 ha), y 4) cuatro fincas con sistema de producción mixto (agricultura y ganadería).

Los usos del suelo de cada finca fueron determinados utilizando la imagen Ikonos 2001 brindada por el proyecto TROF. A partir de esta imagen, se reprodujeron mapas para cada finca y mediante visitas a estas se identificaron y localizaron los diferentes usos del suelo. Utilizando el software ArcView GIS 3.0, se editaron los bordes de los usos del suelo en cada finca dentro de la imagen Ikonos y de esa manera se determinó el área total por finca y por uso del suelo.

En las fincas seleccionadas se inventariaron los árboles dispersos y en cercas vivas de las pasturas, tomando en cuenta los individuos con diámetro a la altura del pecho (dap) mayor a 10 cm. En los árboles dispersos, las variables medidas fueron el dap, altura total, altura de fuste y diámetros mayor (DC1) y menor (DC2) de copa. Además, se determinó la cobertura de copa de los árboles en la pastura y el área basal (AB) de la siguiente manera:

Cobertura de copa (%) = (sumatoria del área de copas de los árboles/área total de las pasturas) \* 100

Donde:

$$\text{Área de copa (m}^2\text{)} = \pi * DC1/2 * DC2/2$$

Área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) = (sumatoria del AB de todos los árboles en la pastura/área de pastura)

Donde:

$$AB = \pi * dap^2/4$$

En este estudio, se consideraron como cercas vivas todas aquellas con más de un árbol con dap mayor a 10 cm. En cada finca se determinaron las variables número de cercas vivas, longitud total de cada cerca y número de árboles por especie. Igualmente, en cada cerca viva se seleccionaron de manera sistemática 10 individuos, distribuidos equitativamente a lo largo de la cerca. En cada uno de estos individuos se midieron las variables identificación de la especie, dap, altura total, altura de fuste y diámetro de copa.

### Análisis de la información

En la tipología de fincas, las variables cuantitativas biofísicas y socioeconómicas fueron evaluadas mediante análisis de varianza. Se utilizó la prueba de chi cuadrado para determinar la dependencia entre las variables cualitativas y las tipologías de fincas. Los usos del suelo fueron analizados por medio de un análisis de varianza. Las variables de la caracterización de árboles en pastu-

ra y cercas vivas fueron evaluadas a través de un análisis de varianza, índices de diversidad (Shanon y Simpson) e índice de similitud de Jaccard con el programa BioDiversity Pro. Además, se calculó la curva de abundancia de especies por medio de los programas EstimateS y Sigma Plot.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tipologías de fincas

Los sistemas predominantes fueron: carne (64%), dedicados a la crianza o engorde de toretes; mixtos (21%), fincas que incluyen agricultura y ganadería de carne, y doble propósito (15%), dedicadas a la producción de carne (venta del ternero al destete) y leche (Cuadro 1). Esta tendencia concuerda con la distribución de los sistemas de producción en Costa Rica, donde el 64% del ható nacional es dedicado a la producción de carne (Montenegro y Abarca 2001). El tamaño de las fincas varió de 8,3 a 323,5 ha, siendo las fincas mixtas las de mayor tamaño. El sistema de producción de doble propósito mostró significativamente el mayor uso de mano de obra (0,3 hombres ha<sup>-1</sup>), lo cual se relaciona con el tamaño pequeño de las fincas y la presencia de la mano de obra familiar en las diferentes actividades. El sistema de producción de carne presentó un mayor uso de pasturas mejoradas (especialmente de los géneros *Brachiaria* y *Panicum*), lo cual está relacionado con la capacidad de inversión de los propietarios y señala también una mayor productividad animal en comparación con las pasturas nativas. La carga animal fue mayor en el grupo doble propósito (2,0 UA ha<sup>-1</sup>); ello se atribuye al uso de pasturas de corte en la época crítica de alimento (estación seca), tales como caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) o king grass (*Pennisetum purpureum x Pennisetum typhoides*).

Con la prueba de Chi cuadrado no se encontró relación significativa entre el número de fincas con árboles dispersos en potrero y en cercas vivas, fertilización química y uso de herbicidas en pasturas con el sistema de producción. Sin embargo, el sistema de producción mixto presentó el mayor uso de fertilizante químico en pasturas (54,6% de las fincas), especialmente en *Digitaria decumbens*, utilizada para la producción de heno. El control químico de malezas en pasturas es muy común en la zona, ya que se encontró que más del 70% de las fincas en los sistemas de producción realizan dicha actividad, que es la causa más importante en la reducción de la regeneración natural de árboles en pasturas.

**Cuadro 1.** Características de las fincas según el sistema de producción, Cañas, Costa Rica.

Variables	Sistemas de producción <sup>z</sup>		
	Carne (n=34)	Mixtos (n=11)	Doble propósito (n=8)
Tamaño de finca (ha)	139,9±38,2 ab	323,5±161,5 a	8,25±0,6 b
Mano de obra (jornal ha <sup>-1</sup> )	0,1±0,02 b	0,1±0,03 b	0,3±0,1 a
Pasturas mejoradas (%)	59,4±6,2 a	43,1±10,6 a	43,9±13,1 a
Carga animal (UA <sup>y</sup> ha <sup>-1</sup> )	1,5±2,1 a	1,1±0,8 a	2,0±1,2 a
Fincas con árboles en potrero (%) <sup>*ns</sup>	100,0	91,0	88,0
Fincas con cercas vivas (%) <sup>*ns</sup>	88,0	100,0	75,0
Fincas con fertilización química en pasturas (%) <sup>*ns</sup>	40,0	54,55	12,5
Fincas que aplican herbicidas en pasturas (%) <sup>*ns</sup>	76,0	73,0	87,0

<sup>z</sup> Media±error estándar.

<sup>y</sup> UA= unidad animal equivalente a 400 kg de peso vivo.

<sup>\*ns</sup> Variables no significativas según chi cuadrado ( $P < 0,05$ ).

Medias seguidas por letras diferentes en la misma fila reflejan diferencia significativa según la prueba de Duncan ( $P < 0,05$ ).

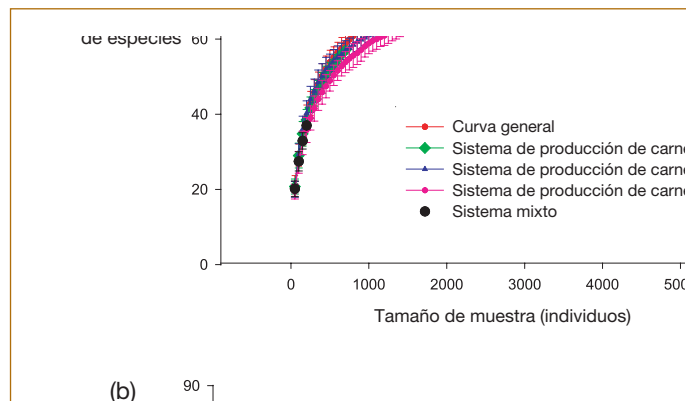
Se encontraron árboles en pasturas en el 93% de las fincas, siendo más comunes en las fincas con ganado de carne (100%). Las cercas vivas estuvieron presentes en el 88% de las fincas de la zona, pero el 100% de las fincas mixtas utilizan este arreglo espacial de árboles. Estos resultados son similares a los encontrados en fincas ganaderas del trópico húmedo de Costa Rica, donde se reportó que el 90% y 85% de las fincas mostraron árboles en pasturas y cercas vivas, respectivamente (Souza de Abreu *et al.* 2000).

### Uso del suelo

El uso predominante en las fincas ganaderas fueron los pastos (72%), seguidos por el bosque ripario (17%), cultivos (7%) y charral (3%). El área destinada a pasturas no mostró diferencia significativa entre los sistemas de producción de carne (pequeño, mediano y grande), pero fueron diferentes del sistema de producción mixto. El bosque ripario y otros usos —pastos de corte, caminos, construcciones e instalaciones— no presentaron diferencia significativa entre sistemas de producción. En las áreas de charral y cultivos hubo diferencia significativa, siendo superior el sistema de producción mixta (Figura 1).

En los sistemas de producción de carne, las pasturas comprendieron el uso del suelo de mayor importancia (80 - 81%), en contraste con los sistemas de producción mixta, donde el área de pasturas (47%) se reduce en favor de los cultivos (25%). Los cultivos más explotados fueron caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), sandía (*Citrullus vulgaris*) y melón (*Cucumis melo*). El bosque ripario tiene alguna importancia para la protección de las fuentes de agua en los diferentes sistemas de producción (14 - 18%). Los charrales en las fincas mixtas refle-

jan que algunos se manejan con el propósito de recuperar la fertilidad del suelo y obtener productos maderables (leña y postes muertos) y, en otros casos, surgen del abandono de fincas por pequeños finqueros y posterior venta a grandes finqueros.



**Figura 1.** Usos del suelo en fincas ganaderas del trópico seco, Cañas, Costa Rica. Las barras muestran el error estándar. Letras diferentes sobre las columnas en cada grupo de uso del suelo señalan diferencia significativa ( $P < 0,05$ ).

### Caracterización de árboles dispersos en pasturas y cercas vivas

#### Composición y abundancia

Se encontraron 5896 individuos de árboles dispersos en pasturas en un total de 834 ha. Estos individuos pertenecieron a 101 especies, de las cuales las 10 más abundantes conformaron el 70,5%. En cercas vivas, se encontraron 20974 individuos de 85 especies en 84 km. Cabe notar que las especies más abundantes fueron jiñote (*Bursera simaruba*) y pochote (*Pachira quinata*), representando el 82% del total (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Especies arbóreas más abundantes en pasturas, Cañas, Costa Rica.

Árboles dispersos en potrero		Cercas vivas	
Especie	Abundancia (%)	Especie	Abundancia (%)
<i>Tabebuia rosea</i> (roble)	12,8	<i>Bursera simaruba</i> (jiñote)	54,2
<i>Guazuma ulmifolia</i> (guácimo)	12,6	<i>P. quinata</i> (pochote)	27,6
<i>Cordia alliodora</i> (laurel)	12,0	<i>Spondias purpurea</i> (jocote)	4,0
<i>Acrocomia aculeata</i> (coyol)	10,2	<i>Ficus werckleana</i> (chilamate)	3,9
<i>Byrsonima crassifolia</i> (nance)	7,4	<i>T. rosea</i> (roble)	2,0
<i>Tabebuia ochracea</i> (corteza amarilla)	4,5	<i>Gliricidia sepium</i> (madero negro)	2,0
<i>Pachira quinata</i> (pochote)	3,1	<i>G. ulmifolia</i> (guácimo)	1,0
<i>Andira inermis</i> (almendro)	2,9	<i>Caesalpinia eriostachys</i> (sahino)	0,6
<i>Piscidia carthagenensis</i> (siete cueros)	2,7	<i>T. ochracea</i> (corteza amarilla)	0,6
<i>Acosmium panamensis</i> (guayacán)	2,4	<i>B. crassifolia</i> (nance)	0,4

Árboles dispersos en pasturas:  $n=5896$  individuos. Cercas vivas:  $n=20974$  individuos.

Los finqueros no realizan actividad específica alguna para promover la regeneración natural en pasturas. Los árboles de mayor edad proceden de la vegetación original (remanentes de bosque) y la regeneración natural que aconteció cuando las fincas utilizaron pastos naturales, manejados con poco herbicida. Los árboles jóvenes son el producto de la selección por parte de los finqueros (atributos maderables como fuste recto y buen desarrollo) cuando realizan chapeas y aplicación localizada de herbicidas; además, en esta etapa del desarrollo, los árboles son afectados por la competencia del pasto y el consumo o pisoteo de los animales. Las especies predominantes muestran características que facilitan su regeneración natural, tales como abundante producción de semilla y capacidad de dispersión por el viento (*T. rosea*, *C. alliodora*) y por el ganado bovino después del consumo (*G. ulmifolia* y *A. aculeata*). Sin embargo, especies como *G. ulmifolia* y *B. crassifolia* poseen una gran capacidad de colonización (pioneras), y algunos finqueros están eliminándolas de la finca, reduciendo así los costos de limpieza de pasturas en el futuro.

En cercas vivas, las especies de mayor abundancia fueron *B. simaruba* y *P. quinata*, las cuales presentan ventajas como la capacidad de reproducirse asexualmente, alto prendimiento de las estacas y rápido crecimiento. *P. quinata* podría transformarse en una fuente de madera de alto valor comercial; sin embargo, ningún finquero lo ha visualizado desde esa perspectiva. Estas especies son establecidas por los finqueros con una frecuencia promedio de cada dos años.

#### Diversidad y curvas de acumulación de especies

La diversidad de árboles dispersos no mostró diferencia significativa entre sistemas de producción. Los índices de Shannon y Simpson variaron de 0,7 a 0,82 y de 0,1 a

0,15, respectivamente. El índice de similaridad (Jaccard) entre el sistema de producción mixto y el sistema de producción de carne (pequeño, mediano y grande) fue de 40%, aunque los sistemas de producción de carne mostraron el mayor valor de similitud, de 65%. En cercas vivas, el índice de diversidad de Simpson no presentó diferencia significativa entre sistemas de producción. El sistema de producción mixto mostró el mayor índice de diversidad de Shannon (0,6), el cual fue significativamente similar a los sistemas de producción de carne pequeño y grande, pero diferente del sistema de carne mediano. El índice de similaridad entre los sistemas de producción varió entre 40 y 62%, con el mayor índice entre los sistemas de producción de carne mediano y grande (Cuadro 3).

En ambos sistemas silvopastoriles, la curva de acumulación de especies mostró que la riqueza fue similar en los distintos sistemas de producción. Además, la tendencia de las curvas por sistema y la general no alcanzaron un comportamiento asintótico, lo cual posiblemente se deba a que existen más especies en el sitio que no fueron inventariadas en el presente trabajo (Figura 2). En este sentido, Gillespie *et al.* (2000) encontraron 204 especies en bosque seco para Nicaragua y Costa Rica, cantidad dos veces mayor de lo registrado en el presente estudio en árboles dispersos en pasturas y cercas vivas.

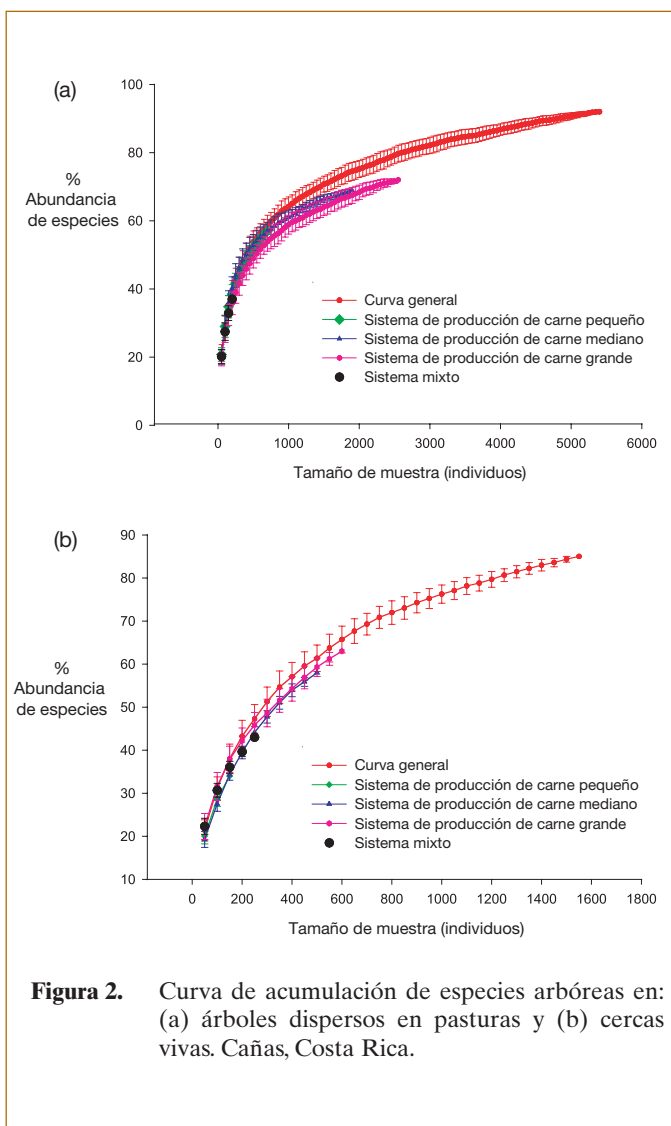
#### Densidad y cobertura de copa de árboles en pastura

La densidad y cobertura de copa de árboles dispersos fue significativamente mayor en el sistema de producción de carne pequeño (13,9 árboles ha<sup>-1</sup> y 12,3%, respectivamente) en comparación con los sistemas de carne y mixto. La densidad de árboles en cercas vivas, la densidad total de árboles en pastura, la cobertura de copa de árboles en cerca viva y la cobertura total de copa

**Cuadro 3.** Diversidad de árboles en pasturas de sistemas de producción ganaderos, Cañas, Costa Rica.

Sistema de producción	Árboles dispersos		Cercas vivas	
	Shannon	Simpson	Shannon	Simpson
Carne pequeño	0,78±0,01a	0,1±0,01 a	0,51±0,18 ab	0,37±0,19 a
Carne mediano	0,70±0,05 a	0,18±0,07 a	0,32±0,17 b	0,56±0,28 a
Carne grande	0,72±0,02 a	0,11±0,01 a	0,36±0,04 ab	0,38±0,06 a
Mixto	0,82±0,04 a	0,15±0,04 a	0,60±0,13 a	0,26±0,11 a

Distintas letras dentro de la columna indican diferencia significativa ( $P > 0,05$ ) según prueba de Duncan.



**Figura 2.** Curva de acumulación de especies arbóreas en: (a) árboles dispersos en pasturas y (b) cercas vivas. Cañas, Costa Rica.

de árboles en pastura no mostraron diferencias significativas (Cuadro 3). El sistema de producción no influyó en la densidad total de árboles en pastura y, consecuentemente, en la cobertura de copa; esto refleja que el manejo y las decisiones de cambio en los árboles dispersos y cercas vivas en pasturas son similares en el paisaje estudiado.

*Diámetro a la altura del pecho y área basal*

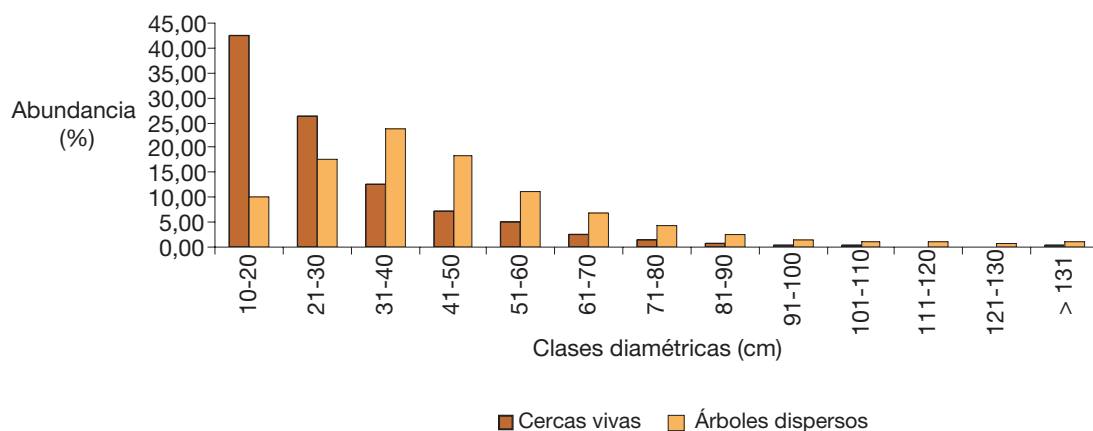
La clase diamétrica 31-40 cm arrojó la mayor presencia de individuos en árboles dispersos en pasturas. La población joven (10-20 cm de dap), producto de la regeneración natural, es menor y los árboles grandes (>41 cm de dap) mostraron una tendencia a decrecer; esta situación indica que, posiblemente, en el futuro la abundancia de árboles en pasturas será menor (Figura 3). Este panorama es producto del uso sistemático de herbicidas, principalmente en la última década, durante la cual ha ocurrido una introducción fuerte de pastos mejorados (generalmente *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens* y *Panicum maximum*). Por lo tanto, la combinación de herbicidas, pastos de mayor agresividad y el efecto de los animales (pisoteo y consumo) ha reducido la regeneración natural. En cercas vivas, la distribución de las clases diamétricas es mayor conforme disminuye el tamaño (dap) de los individuos; la mayor parte de la población de individuos se agrupó en la clase 10-30 cm de dap (Figura 3). Esto se podría atribuir a la siembra intensiva que ha ocurrido en los últimos años de especies como jiñote y pochote, para las cuales se utilizan estacas con un diámetro que varía entre 5,3 y 15,5 cm, y al efecto de la poda, que ocurre al menos cada dos años.

En árboles dispersos, el dap no mostró diferencia significativa ( $P > 0,05$ ) entre sistemas de producción, y los valores variaron entre 40,4 y 45,0 cm. El AB presentó diferencia significativa entre sistemas ( $P < 0,05$ ); el sistema de producción de carne pequeño fue similar al de carne mediano y mayor que los sistemas de producción de carne grande y mixto (2,4 vs. 1,6; 2,4 vs. 1,3 y 2,4 vs. 0,9  $m^2 ha^{-1}$ , respectivamente). En cercas vivas, el dap no mostró diferencia significativa ( $P > 0,05$ ) entre sistemas de producción y los promedios variaron entre 27,1 y 31,0 cm. El AB presentó diferencia significativa entre sistemas de producción ( $P > 0,05$ ); el sistema de producción mixto fue similar al de carne pequeño, pero mayor que los sistemas de producción de carne grande y mediano (1,0 vs. 0,7; 1,0 vs. 0,3; 1,0 vs. 0,4  $m^2 ha^{-1}$ , respectivamente).

**Cuadro 3.** Densidad y cobertura de copa de árboles en pasturas en fincas ganaderas, Cañas, Costa Rica.

Variable	Sistema de producción			
	Carne pequeño	Carne mediano	Carne grande	Mixto
Área inventariada (ha)	89,2	274,4	351,0	48,7
Densidad de árboles dispersos (árboles ha <sup>-1</sup> )	13,9±2,8 a	7,2±1,2 b	7,1±1,3 b	5,0±0,6 b
Densidad de árboles en cercas vivas (árboles ha <sup>-1</sup> )	23,1±9,6 a	31,3±6,5 a	28,3±2,7 a	29,9±6,8 a
Densidad total de árboles en pastura (árboles ha <sup>-1</sup> )	37,0±11,6 a	38,5±7,2 a	35,4±1,6 a	34,9±6,9 a
Cobertura de copa de árboles dispersos (%)	12,3±2,8 a	6,5±1,4 b	6,2±2,1 b	3,2±0,5 b
Cobertura de copa de árboles en cercas vivas (%)	19,7±11,3 a	14,2±2,9 a	21,2±9,8 a	22,7±4,2 a
Cobertura total de árboles en pastura (%)	32,0±14,1 a	20,7±3,1 a	27,4±9,1 a	25,9±4,1 a

Diferentes letras en la misma fila reflejan diferencia significativa según la prueba de Duncan ( $P < 0,05$ ).



**Figura 3.** Distribución de las clases diamétricas de árboles en pasturas (dispersos y en cercas vivas) en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica.

## CONCLUSIONES

Los sistemas de producción bovina predominantes en la zona de estudio fueron carne, mixto y doble propósito, los cuales representaron el 64, 21 y 15% del total de fincas, respectivamente.

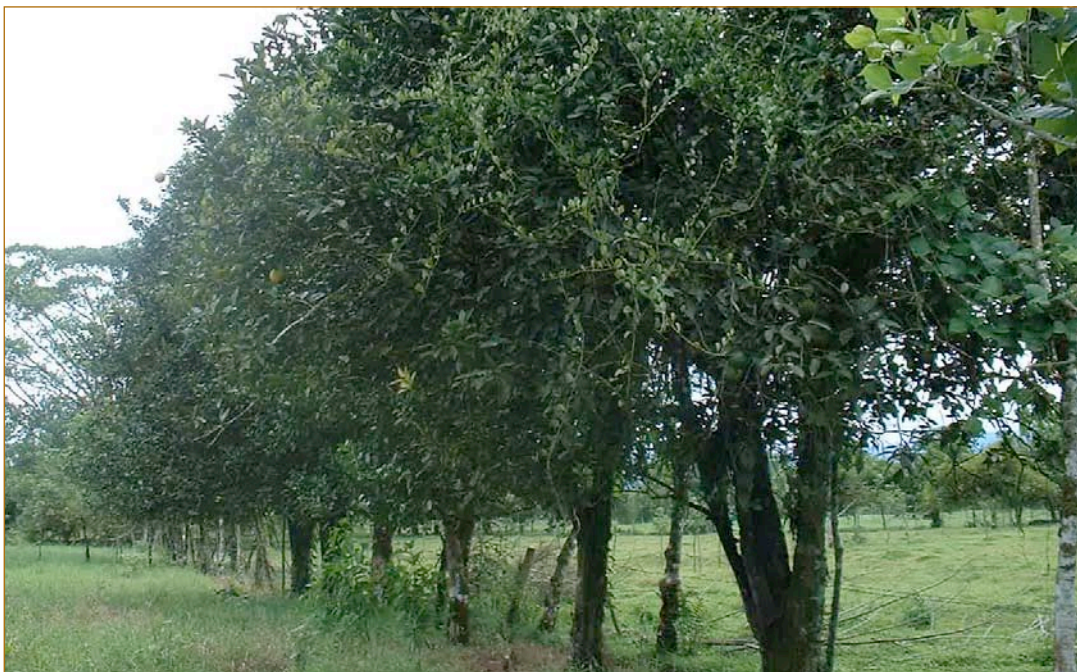
Los árboles en pasturas son manejados en el 93% de las fincas, mientras que el 85% posee cercas vivas. Las especies de árboles dispersos en pasturas más abundantes fueron *G. ulmifolia*, *T. rosea*, *C. alliodora*, *A. aculeata* y *B. crassifolia*, y en cercas vivas *B. simaruba* y *P. quinata*.

En árboles dispersos, los índices de diversidad fueron similares entre los sistemas de producción; igualmente, los sistemas de producción de carne presentaron el mayor índice de similaridad de especies (65%). En cercas vivas, el índice de diversidad de Shannon fue diferente

significativamente únicamente entre los sistemas de producción mixto y carne mediano. El mayor índice de similaridad ocurrió entre los sistemas de producción de carne mediano y grande (62%).

La riqueza de especies arbóreas fue similar en los distintos sistemas de producción. Además, las curvas de abundancia no alcanzaron un comportamiento asintótico, lo cual presagia que existen más especies en el sitio que las inventariadas en este estudio.

La densidad y cobertura de copa de árboles total (árboles dispersos + cercas vivas) en pasturas fue similar en los diferentes sistemas de producción, variando de 34,9 a 38,5 árboles ha<sup>-1</sup> y de 20,7 a 32,0%, respectivamente. Ello indica que la distribución y manejo de los árboles en pasturas en fincas ganaderas se rigen bajo un mismo patrón.



Las cercas vivas constituyen un uso tradicional del suelo en Cañas, Costa Rica (proyecto FRAGMENT).

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Camargo, JC; Ibrahim, M; Somarriba, E; Finegan, B; Current, D. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural de laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 46-49.
- Deffontaines, JP; Thenail, C; Baudfy, J. 1995. Agricultural systems and landscape patterns: how can we build a relationship? *Landscape and Urban Planning* 31: 3-10.
- Gillespie, TW; Grijalva, A; Farris, CN. 2000. Diversity, composition, and structure of tropical dry forests in Central America. *Plant Ecology* 147: 37-47.
- Gregory, NG. 1995. The role of shelterbelts in protecting livestock: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 38: 423-450.
- Harvey, CA; Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44(1): 37-68.
- Holmann, F; Romero, F; Montenegro, J; Chana, C; Oviedo, E; Baños, A. 1992. Rentabilidad de sistemas silvopastoriles con pequeños productores de leche en Costa Rica: primera aproximación. *Turrialba* 42(1): 79-89.
- Holdridge, L. 1978. *Ecología, zonas de vida*. San José, CR, IICA. 214 p.
- Kaimowitz, D. 2001. Will livestock intensification help save Latin America's tropical forest? In Angelsen, A; Kaimowitz, D. eds. *Agricultural technologies and tropical deforestation*. Wallingford, UK, CABI. p. 1-20.
- Montenegro B, J; Abarca M, S. 2001. Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global. San José, CR, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 135 p.
- Place F; Otsuka, K. 2000. Population pressure, land tenure, and tree resources management in Uganda. *Land Economics* 76(2): 233-251.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hanger: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE. 71 p. (Serie Técnica no. 313).
- Souza, MH; Ibrahim, M; Harvey, C; Jiménez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 53-56.
- 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. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR, CATIE.
- Kanninen, M. 2003. Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: potencial para América Latina. In Ibrahim, M; Mora, J; Rosales, M. eds. *Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales*. Roma, IT, FAO. 196 p. *En prensa*.
- Zamora, S; García, J; Bonilla, G; Aguilar, H; Harvey, C; Ibrahim, M. 2001. Uso de frutos y follaje arbóreo en la alimentación de vacunos en la época seca en boaco, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 8(31): 31-38.

## Avances de investigación

# Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Río Frío, Costa Rica<sup>1</sup>

Jaime Villacis<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>3</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>3</sup>; Cristóbal Villanueva<sup>3</sup>

**Palabras claves:** árboles dispersos; cercas vivas; intensificación; sistemas de producción; sistemas silvopastoriles.

### RESUMEN

Se caracterizó el componente arbóreo en fincas ganaderas de la zona de Río Frío, Costa Rica y se relacionó esta información con el nivel de intensificación de las fincas. El 87,3% de las fincas tuvieron cercas vivas y el 95,7% tuvieron árboles en potreros. Se encontraron dos grupos de fincas ganaderas: alta intensificación (fincas especializadas de leche) y baja intensificación (fincas de carne, doble propósito y mixtas). Las fincas de alta intensificación se caracterizaron por tener mayor carga animal, mayor cantidad de potreros y por utilizar mayor cantidad de concentrados y mayor cantidad de mano de obra familiar que las fincas de baja intensificación. Las fincas más intensivas tuvieron menor área de bosques, menor densidad de árboles en potreros, y más cercas vivas (pero con menor densidad de individuos) que las fincas baja intensificación. Variables como la carga animal, el área de potreros y la mano de obra contratada influyeron negativamente sobre la cobertura arbórea total (bosque primario y secundario y plantaciones forestales) presente en la finca. En contraste, el tamaño de la finca y la capacitación de los productores influyeron positivamente sobre la cobertura arbórea total en las fincas ganaderas. Se concluye que bajo las condiciones de Río Frío, la intensificación de las fincas reduce la cobertura arbórea, disminuyendo el área de bosques y la densidad de árboles en potreros y en cercas vivas.

**Relationships between tree cover and farm intensification in Río Frío, Costa Rica**

**Key words:** Dispersed trees, intensification, live fences, production systems, silvopastoral systems.

### ABSTRACT

The tree cover in livestock farms in Río Frío, Costa Rica, was characterized and related to level of farm intensification. Eighty-seven percent of the farms had live fences and 95.7% had trees in pastures. Two groups of cattle farms were identified: farms of high intensification (specialized milk farms) and farms of low intensification (beef, dual purpose and mixed farms). Highly intensified farms had higher stocking rates, a greater number of pastures, and used greater amounts of concentrate and family labor than the less intensified farms. The highly intensified farms had smaller forest areas, lower tree densities in pastures, and more live fences (but with lower tree densities) than the less intensified farms. Variables such as the stocking rate, pasture size and amount of contracted labor negatively influenced the total tree cover (primary and secondary forest and forestry plantations) on the farm. In contrast, farm size and farmer training positively influenced the total tree cover in the livestock farms. It is concluded that in the Río Frío study area, the intensification of farms reduces overall tree cover, diminishing the forest area and the reducing tree density of pastures and live fences.

## INTRODUCCIÓN

La zona de Río Frío se dedica a la ganadería y representa un potencial para la producción lechera de Costa Rica (Urgiles 1996). En muchas fincas, la ganadería se desarrolla bajo sistemas de producción intensivos que fueron promovidos por el IDA (Instituto de Desarrollo Agrario; Villafuerte 1998). La intensificación de las fincas ganaderas se define como la utilización de insumos externos de alta calidad alimenticia, fertilización para el manejo de potreros, recursos genéticos más productivos, mejores medidas sanitarias y prácticas de manejo

más eficientes para aumentar la productividad (Brookfield 1993, Serrao y Toledo 1993, Shriar 2000). Según algunos investigadores, las prácticas de intensificación en América Latina reducirán la presión sobre los bosques, resultando en una mayor protección de estas áreas (Serrao y Toledo 1993). Sin embargo, no se ha proporcionado evidencia que compruebe la veracidad de esta afirmación, ni se ha descrito cómo tendrá lugar dicha predicción. Igualmente, no se ha considerado de qué manera la intensificación afecta la cobertura arbórea

<sup>1</sup> Basado en Villacis, J. 2003. Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Río Frío, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 129 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Agroforestería Tropical. Correo electrónico: villacis@catie.ac.cr (autor para correspondencia).

<sup>3</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE. Correos electrónicos: charvey@catie.ac.cr; mibrahim@catie.ac.cr; cvillanu@catie.ac.cr



dentro de las fincas. El objetivo de este estudio fue caracterizar el componente arbóreo en fincas ganaderas de Río Frío, Costa Rica y comparar la cobertura arborea en fincas con diferentes niveles de intensificación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la zona de Río Frío, provincia de Heredia, Costa Rica, área de influencia del proyecto FRAGMENT (10°19,2'N y 83°55,2'O; 100-150 msnm). La zona presenta 25,4 °C de temperatura promedio, una humedad relativa promedio del 88%, y 4120 mm de precipitación anual (Herrera y Jansen 1994). El área de estudio corresponde a la zona de vida Bosque Muy Húmedo Tropical (Holdridge 1978).

Se llevó a cabo una encuesta estructurada en 71 fincas para recolectar datos sobre uso del suelo (tamaño y distribución de las áreas de la finca); características de los productores (edad, escolaridad, composición y distribución de la mano de obra); características del sistema de producción (número de cabezas, razas, suplementación y tipos de pastos y características de las áreas agrícolas), y descripción y composición del componente arbóreo (especies y usos de árboles en potreros y cercas vivas).

Se realizó un análisis de conglomerados, utilizando el método de varianza mínima de Ward y la prueba de pseudo  $t^2$  para definir los tipos de fincas con base en su intensificación. En este análisis se incluyeron 31 variables (24 cuantitativas y siete cualitativas) y se formaron dos grupos de fincas: baja y alta intensificación (34 y 37 fincas, respectivamente). Las variables que más contribuyeron a la distinción entre los grupos fueron siete relacionadas con características de las fincas —distancia hasta la población más cercana, área total de la finca, otras áreas de terreno, área de potreros, área de pasto mejorado, área de cultivo, área de bosque total— que explicaron el 38,8% de la variabilidad; seis de manejo —tipo de sistema productivo, carga animal, producción de leche, dosis de fertilizante, dosis de herbicida y cantidad de concentrado— que explicaron el 35,6%, y tres sociales —años dedicados a la ganadería, años que tiene la finca y tamaño familiar— que explicaron el 13,1%.

Las fincas de alta intensificación se caracterizaron por utilizar una mayor cantidad de insumos y prácticas de manejo más eficientes que las fincas de baja intensificación. Las fincas más intensivas fueron sistemas especializados de leche, mientras que las fincas de baja intensificación fueron sistemas de carne, doble propósito y mixto. Posteriormente, se seleccionaron 16 fincas al azar: cuatro de al-

ta intensificación (de leche) y 12 de baja intensificación (cuatro de carne, cuatro de doble propósito y cuatro mixtas). En estas fincas se realizó un inventario total del componente arbóreo en cercas vivas y potreros.

Se realizaron análisis de varianza para variables cuantitativas (abundancia, riqueza, diversidad y densidad de especies, longitud total de cerca y cobertura arborea total) entre fincas de alta y baja intensificación. Se realizó una prueba no paramétrica de Wilcoxon para comparar y establecer diferencias entre la cobertura arborea de cercas vivas y potreros en fincas ganaderas. Además, se realizaron pruebas de comparación de medias (Duncan) y regresiones múltiples (STEPWISE) (SAS 1999) para analizar las relaciones entre la cobertura arborea y las características de las fincas, identificando las variables socioeconómicas más relacionadas con la cobertura arborea.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

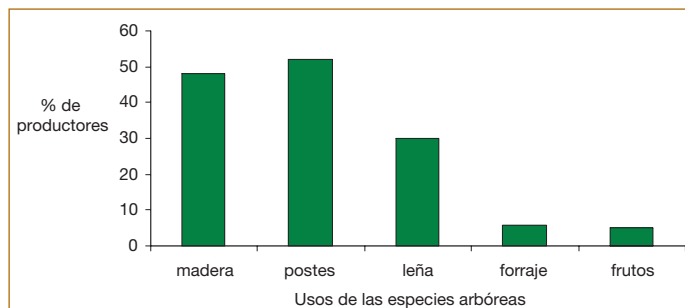
### Árboles dispersos en potreros

Se encontró que en el 97,5% de las fincas se mantienen árboles en potreros. El 98,5% de los productores señaló que los árboles presentes en potreros fueron de regeneración natural y solamente el 1,5% mencionó que ha plantado árboles en potreros, principalmente laurel (*Cordia alliodora*), con semilla donada por los técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en 1991.

Los productores ganaderos de la zona reconocieron el valor de los árboles en sus fincas y los beneficios de mantener árboles en potreros, ya que constituyen fuente de postes, madera y leña para la finca, proveen frutos para los animales y brindan servicios, como la sombra. La mayoría de los productores (67,6%) utilizaron los árboles dispersos en potreros para obtener postes para el establecimiento de cercas vivas, generalmente para separar apartos dentro de la finca y dividir parcelas contiguas. El 47,9% de los productores emplearon los árboles de los potreros como fuente de madera y el 29,9% los utilizaron como leña. Los productores utilizaron, en menor escala, los árboles de los potreros como fuente de forraje y frutos para el ganado (Figura 1).

Según los productores, en los potreros de la zona de Río Frío se encuentra un total de 61 especies de árboles. Las especies de árboles maderables más comunes en potreros fueron el laurel y el gavilán (*Pentaclethra macroloba*), presentes en el 83% y 49,2% de las fincas encuestadas, respectivamente. Otras especies maderables frecuentes

en la zona fueron cedro maría (*Calophyllum brasiliense*, en el 14% de las fincas), caoba (*Swietenia macrophylla*, 11%), pilón (*Hyeronima alchornoides*, 11%) y guácimo blanco (*Guazuma ulmifolia*, 8%).



**Figura 1.** Uso de los árboles en potreros por productores de Río Frío, Costa Rica, 2003 (n = 71 productores).

Los árboles frutales representaron una parte importante del componente arbóreo dentro de los potreros, ya que ofrecen beneficios como frutos para el consumo y sombra para el ganado. Entre las especies representativas de este grupo se encontraron guayaba (*Psidium guajava* en el 60,5%) de las fincas, naranja (*Citrus sinensis*, 45%), limón (*Citrus reticulata*, 32,3%) y guaba (*Inga spectabilis*, 16,9%).

Otro uso importante de los árboles en las fincas fue como fuente de postes muertos, utilizados generalmente para la construcción y reparación de establos, corrales y cercas. El 46,4% de los productores utilizan postes muertos provenientes de las mismas fincas; el resto de productores encuestados mencionó que actualmente no tienen postes muertos en sus predios y que los pocos que mantienen están siendo reemplazados por postes vivos. Las especies más utilizadas para este fin fueron gavián y manú negro (*Minquartia guianensis*).

### Cercas vivas

El 87,3% de las fincas en la zona tuvieron cercas vivas. El 40,3% tuvo cercas vivas compuestas por una sola es-

pecie, generalmente poró (*Erythrina costaricensis*), y el 59,6% tuvo cercas vivas compuestas por dos especies, principalmente poró y madero negro (*Gliricidia sepium*). Las cercas vivas tuvieron un promedio de 86,7 ± 3,6 m de largo (Harvey *et al.* 2004).

Las principales especies arbóreas reportadas en cercas vivas fueron poró y madero negro, presentes en el 83,1 y 49,2% de las fincas, respectivamente. Otras especies de plantas menos frecuentes fueron el laurel (en el 2,8% de las fincas), piñuela (*Bromelia pinguim*, en el 2,8%), caña india (*Dracaena fragrans*, en el 2,8%), pochote (*Pachira quinata*, en el 1,4%), indio pelado (*Bursera simaruba*, en el 1,4%) y guaba (en el 1,4%).

Los árboles en las cercas vivas generalmente fueron podados de una a cuatro veces por año, siendo una y dos veces por año las frecuencias de poda más comunes (44,1 y 43%, respectivamente). Los residuos de la poda de poró y madero negro que quedaron en los potreros fueron generalmente consumidos por el ganado o utilizados como material vegetativo para la propagación.

### Diferencias entre sistemas de alta y baja intensificación

Las fincas de alta intensificación fueron más pequeñas, tuvieron más potreros y una carga animal mayor que las fincas de baja intensificación ( $p = 0,0001$ ), ya que los productores de fincas de alta intensificación manejan pastos mejorados y períodos de ocupación de un día. Además, muchas de las fincas intensivas fueron establecidas por el IDA, con áreas pequeñas (generalmente <16 ha). La frecuencia de desparasitación del ganado fue mayor en el sistema de alta intensificación ( $p = 0,0001$ ), debido al manejo intensivo de los sistemas especializados de leche. Además, las fincas de alta intensificación utilizaron más mano de obra familiar que las menos intensificadas ( $p = 0,0063$ ), por la necesidad de ordeñar diariamente y de podar un mayor número de cercas vivas.

**Cuadro 1.** Características de las fincas ganaderas en Río Frío, Costa Rica, 2003.

	Intensificación	
	Alto (n = 37)	Bajo (n = 34)
Área total (ha)	17,5 ± 3,6 b	27,1 ± 5,2 a
No. de potreros promedio finca <sup>-1</sup>	15,1 ± 2,2 a	6,8 ± 1,2 b
Carga animal (UA <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	3,8 ± 0,2 a	2,2 ± 0,2 b
Frecuencia de desparasitación (veces año <sup>-1</sup> hato <sup>-1</sup> )	8,2 ± 0,7 a	4,9 ± 1,1 b
Concentrado kg animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	2,2 ± 0,2 a	0,8 ± 0,3 b
Pasto predominante	Braquiupará ( <i>Brachiaria erecta</i> )	Retana ( <i>Ischaemun ciliare</i> )
Mano de obra familiar (personas año <sup>-1</sup> )	2,3 ± 0,1 a	1,6 ± 0,1 b

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). \*1 UA (unidad animal) = 400 kg de peso vivo.



Cerca viva en una finca de Río Frío, Costa Rica (proyecto FRAGMENT 2003).

El nivel de intensificación en las fincas ganaderas influye en el área de bosques, en la densidad y el manejo de las cercas vivas y en la densidad de árboles en potreros. El área de bosques fue menor en las fincas intensivas que en las de baja intensificación (Cuadro 2), posiblemente porque las primeras manejan cargas animales altas y mayor número de apartos para el establecimiento de pastos mejorados, que obligan a los productores a reemplazar algunas áreas de bosque por pasturas. Además, las fincas de alta intensificación no presentaron charrales, plantaciones forestales y huertos frutales, ya que son sistemas especializados cuyo principal ingreso es la producción de leche. El tamaño pequeño de estas fincas intensificadas también hace que los productores

utilicen más intensivamente su terreno y dejen poco espacio para la cobertura arbórea.

Las características de las cercas vivas (longitud total, altura y dap promedio y densidad) difirieron entre los sistemas de baja y alta intensificación (Cuadro 3). La densidad promedio de cercas vivas por área fue mayor en las fincas intensivas (0,3 vs. 0,16 km ha<sup>-1</sup>), debido a que la alta intensificación demanda un mayor número de apartos, los cuales suelen dividirse con postes vivos. Las cercas vivas de las fincas intensificadas presentan árboles de menor tamaño (dap y altura total) que los de fincas menos intensivas, posiblemente debido a que, en las primeras, la frecuencia de poda de cercas vivas es mayor y las vacas consumen frecuentemente el follaje de los postes vivos. La densidad de árboles en cercas vivas en el sistema de baja intensificación fue casi el doble que en sistemas más intensivos (707 vs. 308 árboles km<sup>-1</sup>), porque los árboles en cercas vivas sirven para sostener tres o cuatro líneas de alambre de púa en fincas de baja intensificación y cables de cercas eléctricas en las fincas más intensivas (Araya 2003)<sup>4</sup>. El porcentaje de área promedio de potreros bajo sombra de cercas vivas fue menor en los sistemas de alta intensificación que en los sistemas de baja intensificación (Cuadro 3).

Los sistemas de alta intensificación presentaron un menor número total de especies, menor densidad de árboles en potreros y árboles más grandes que los sistemas menos intensivos (Cuadro 4). La densidad promedio de árboles en potreros de fincas intensivas fue casi la mitad que en las fincas de baja intensificación (13,6 vs. 26,3 árboles ha<sup>-1</sup>), debido a que en sistemas más intensivos se eliminan algunos árboles en potreros para disminuir el efecto de la sombra, principalmente donde establecen pastos mejorados. Los árboles dispersos en potreros de fincas más intensivas fueron más grandes que aquellos en fincas de menor intensificación, ya que en el primer tipo de fincas se encuentran más árboles de relictos de bosque.

**Cuadro 2.** Uso de la tierra en sistemas arbolados en fincas ganaderas, Río Frío, Costa Rica, 2003. Datos con la estrella vienen de las encuestas; los demás datos vienen de mediciones en el campo de 16 fincas ( $n=4$  alto,  $n=12$  bajo).

Uso de la tierra (%)	Intensificación	
	Alto	Baja
Área en bosques	2,3 ± 0,7 b	7,8 ± 2,3 a
Área en charral	0	2,8 ± 1,9
Área en plantaciones forestales	0 a	1,7 ± 1,7 a
Área en huerto frutal	0 a	1,8 ± 0,7 a
Área en bosques riparios	10,0 ± 3,9 a	12,0 ± 3,9 a

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Valores corresponden a promedios ± error estándar.

La densidad de árboles en potreros (tanto de cercas vivas como árboles dispersos), la cobertura de copa de las cercas vivas, y el porcentaje de área total de potreros con cercas vivas y árboles dispersos disminuyen conforme aumenta el nivel de intensificación (Cuadro 5). Esto indica que el establecimiento de tecnologías que intensifiquen la producción ganadera (mayor carga animal, mayor número de apartos, uso de más suplementos y mayor mano de obra) ejerce un efecto negativo sobre la cobertura arbórea total de las fincas ganaderas de la zona.

### Relaciones entre la intensificación de las fincas y la cobertura arbórea

En fincas ganaderas de alta intensificación, la cobertura arbórea total estuvo relacionada positivamente con la capacitación de los productores y negativamente con la carga animal, el área de potreros y la dosis de fertilizante químico para los pastos (Cuadro 6). La carga animal tuvo un efecto negativo sobre la cobertura arbórea total de las fincas de alta intensificación, quizás debido a los daños que causan los animales, como el pisoteo y el con-

sumo de plántulas pequeñas en áreas de bosques. La capacitación de los productores presentó un efecto positivo sobre la cobertura arbórea en fincas de alta intensificación. Esta relación carece de lógica, debido a que la capacitación que reciben los productores de sistemas de alta intensificación está orientada a la productividad ganadera y no a la conservación del componente arbóreo, por lo que estos sistemas suelen presentar menor cobertura arbórea en las fincas. La dosis de fertilizante químico tuvo un efecto negativo sobre la cobertura arbórea, lo cual podría estar relacionado con que los pastos mantienen una mayor cobertura al ser fertilizados y no permiten el crecimiento de los árboles (Restrepo 2002).

En cambio, en fincas ganaderas de baja intensificación la cobertura arbórea total estuvo influenciada positivamente por el tamaño de los apartos y negativamente por el área de pastos mejorados, el área de pasto retana y el tiempo de ocupación de los potreros (Cuadro 6). Las áreas de pasto mejorado y pasto retana tuvieron un efecto negativo sobre la cobertura arbórea total, debido

**Cuadro 3.** Características generales de las cercas vivas en fincas ganaderas de Río Frío, Costa Rica, 2003.

Características	Intensificación	
	Alta (n =236 cercas vivas)	Baja (n =174 cercas vivas)
Riqueza total de especies	12	15
Riqueza de especies por finca (número de especies)	3,7 ± 1,3 a	5,1 ± 0,9 a
Número de cercas vivas por finca	59 ± 16,7 a	14,5 ± 1,7 b
Longitud total de cercas vivas (km finca <sup>-1</sup> )	3,2 ± 0,6 a	1,5 ± 0,1 b
Densidad de cercas vivas (km ha <sup>-1</sup> )	0,30 ± 0,06 a	0,16 ± 0,01 b
Densidad arbórea (individuos km <sup>-1</sup> )	308,4 ± 51,5 b	707,8 ± 61,0 a
Dap (cm) (n =1377)	15,1 ± 0,2 b	16,2 ± 0,2 a
Altura (m) (n =1377)	6,0 ± 0,1 b	6,9 ± 0,1 a
Área de potreros con cercas vivas (%) <sup>z</sup>	5,9 ± 1,1 b	14,4 ± 3,4 a
Frecuencia de poda (podas año <sup>-1</sup> )	1,6 ± 0,1	1,3 ± 0,1

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Los valores corresponden a promedios ± error estándar.<sup>z</sup> Prueba de Wilcoxon (no paramétrica).

**Cuadro 4.** Características de los árboles dispersos (dap >10 cm) en potreros en fincas de diferente nivel de intensificación en Río Frío, Costa Rica, 2003.

Atributos	Intensificación	
	Alta	Baja
Riqueza total de especies	55	96
Riqueza de especies de árboles por finca	23,0 ± 2,0 a	22,8 ± 2,4 a
Densidad de árboles en potreros (individuos ha <sup>-1</sup> )	13,6 ± 2,3 b	26,3 ± 3,5 a
Dap (cm)	36,6 ± 1,4 a	29,4 ± 0,5 b
Altura (m)	15,5 ± 0,3 a	13,3 ± 0,1 b
Área de potreros con árboles dispersos (%)	12,05 ± 2,8 a	18,1 ± 2,2 a

Valores corresponden a promedios ± error estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

<sup>4</sup> Araya, J. 2003. (Comunicación personal)

**Cuadro 5.** Densidad arbórea, áreas de potreros arbolados y cobertura arbórea total en fincas ganaderas, Río Frío, Costa Rica, 2003.

Variable	Intensificación	
	Alta	Baja
Densidad de árboles en potreros (cercas vivas y dispersos; individuos ha <sup>-1</sup> )	26,88 ± 4,39 b	72,97 ± 13,30 a
Cobertura de copa de las cercas vivas en potreros (%)	3,92 ± 0,72 b	7,55 ± 1,02 a
Cobertura de copa de los árboles dispersos en potreros (%)	12,03 ± 2,80 a	18,0 ± 2,19 a
Porcentaje de cobertura de copa total en potreros (cercas vivas y árboles dispersos)	15,95 ± 2,25 b	25,53 ± 2,65 a

Valores corresponden a promedios ± error estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (prueba de Wilcoxon;  $p < 0,05$ ).

**Cuadro 6.** Regresiones múltiples entre la cobertura arbórea y las características de la finca.

Tipo de fincas	Ecuación	r <sup>2</sup>	p
Fincas de alta intensificación	Cobertura arbórea total = 74,23 – 1,04 carga animal – 0,75 área de potrero + 5,66 capacitación o no de los productores – 0,05 dosis de fertilizante químico	0,77	<0,0001
Fincas de baja intensificación	Cobertura arbórea total = 40,49 – 0,58 área de pasto mejorado – 0,34 área de pasto retana + 1,32 tamaño de apartos – 0,83 días	0,70	<0,0001

a que las áreas de bosque han sido reemplazadas por áreas de pasturas. El tamaño de los apartos tuvo un efecto positivo sobre la cobertura arbórea total, quizás porque las fincas que presentan apartos grandes no intensifican la productividad ganadera, ya que tienen otras fuentes de ingresos al sistema (cultivos, frutales). Finalmente, el tiempo de ocupación de los potreros mostró una relación negativa con la cobertura arbórea; es decir, cuanto mayor el tiempo de ocupación, menor la cobertura arbórea, debido principalmente al daño causado por el pisoteo del ganado sobre la regeneración natural del componente arbóreo.

## CONCLUSIONES

Los tipos de cobertura arbórea predominantes en fincas ganaderas de Río Frío son los árboles dispersos en potreros y las cercas vivas. Los productores ganaderos reconocen el valor de los árboles y las ventajas de mantenerlos en potreros, tales como el suministro de algunos productos (postes, madera, leña, forraje y frutos) y servicios (sombra).

La intensificación de las fincas hace que se reduzcan las áreas arboladas, tales como bosques, charrales, plantaciones forestales y huertos frutales, ya que el objetivo principal de las fincas más intensivas es la producción de leche, la cual demanda una gran cantidad de pasto.

Además, la densidad de árboles en potreros disminuye con la intensificación de las fincas, porque los productores eliminan árboles de los potreros para disminuir la sombra y su efecto sobre los pastos mejorados. Las fincas más intensivas tienen más cercas vivas que las de baja intensificación, pero con menor densidad arbórea y árboles de menor tamaño.

En Río Frío, la intensificación de las fincas ganaderas parece reducir la cobertura arbórea total de la finca, especialmente las áreas de bosques, las densidades de árboles dispersos y el área de copas de las cercas vivas. Un aumento en el número de productores intensivos en el paisaje implicaría una reducción de la cobertura arbórea dentro de las fincas; sin embargo, no se sabe cómo la intensificación afecta esta cobertura fuera de las fincas.

## AGRADECIMIENTO

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad



Pastura mejorada en una finca intensificada en Río Frío, Costa Rica (proyecto FRAGMENT 2003).

Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen. Se agradece a los 71 productores ganaderos de la zona de Río Frío que colaboraron con el desarrollo de la investigación, en especial a la familia Chacón, por su apoyo y hospitalidad brindada al primer autor. También se agradece a FINNIDA por financiamiento adicional al primer autor.

### **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- Brookfield, HC. 1993. Notes on the theory of land management. *PLEC News and Views* 1: 28-32.
- Harvey, CA; Villanueva, C; Villacis, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Gómez, R; Taylor, R; Martínez, M; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Sinclair, FL. 2004. Contribución de cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de paisajes agropecuarios en Centroamérica. *Agroforestería en las Américas* 10 (39-40): 30-39.
- Herrera, RC; Jansen, DM. 1994. Climate in some stations of the Atlantic zone of Costa Rica. Phase 2 report No. 88. Turrialba, CR, CATIE. The Atlantic Zone Programme. 64 p.
- Holdridge, LR. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR, IICA. 216 p. (Serie Libros y Materiales Educativos IICA no. 34).
- Restrepo, C. 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Serrao, EA; Toledo, JM. 1993. The search for sustainability in Amazonian pastures. In Anderson, AB. ed. *Alternatives to deforestation: Steps toward sustainable use of the Amazon Rain Forest*. Nueva York, US, Columbia University Press. p. 195-214.
- Shriar, AJ. 2000. Agricultural intensity and its measurement in frontier regions. *Agroforestry Systems* 49: 301-318.
- Urgiles, J. 1996. Descripción cuantitativa y optimización de sistemas de producción de leche especializada, en Río Frío, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Villafuerte, L. 1998. Sistemas expertos como herramienta para toma de decisiones en manejo en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo bajo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 98 p.

## Avances de investigación

# Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica

Humberto Esquivel<sup>1</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>2</sup>; Cristóbal Villanueva<sup>2</sup>; Tamara Benjamin<sup>2</sup>; Fergus L. Sinclair<sup>3</sup>

**Palabras claves:** abundancia; árboles en pasturas; cobertura arbórea; densidad; frecuencia; riqueza.

### RESUMEN

Se seleccionaron al azar 16 fincas con ganadería activa para realizar el inventario de los árboles dispersos en potreros. Se inventariaron 199 potreros en una superficie de 835,8 ha, de los cuales el 72% se encontraba con pasturas mejoradas y el 28% con nativas. Se encontraron 5896 árboles, pertenecientes a 99 especies y 39 familias. De las especies registradas, 20 estaban representadas solamente por un individuo y siete por dos individuos. El uso más frecuente de los árboles encontrados fue maderable, seguido por forrajeros y frutales (50, 27 y 27%, respectivamente). El 54% de los árboles se encontraba en forma individual, mientras que los restantes estaban formando pequeños grupos. La cobertura arbórea promedio fue de 7%, con una densidad promedio de 8,6 árboles ha<sup>-1</sup>. Las especies arbóreas más abundantes y frecuentes fueron el roble (*Tabebuia rosea*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), laurel (*Cordia alliodora*) y coyol (*Acrocomia vinifera*). Los árboles presentaron un dap promedio de 44,8 cm, siendo guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) y jenízaro (*Samanea saman*) los de mayor tamaño y copa más grande. Se concluye que, aunque pocas especies dominen el paisaje, existe una gran diversidad de especies de árboles dispersos en los potreros, en bajas densidades para no interferir con la actividad ganadera.

**Dispersed trees in pastures of cattle farms in a dry ecosystem in Costa Rica**

**Key words:** Abundance; density; frequency; species richness; tree cover; trees in pastures.

### ABSTRACT

Sixteen cattle farms were selected to conduct a tree inventory of all trees dispersed within the pastures. A total of 199 pasture plots, occupying an area of 835.8 ha, were inventoried. Improved pasture species covered 72% of the area and native grasses were present in 28%. A total of 5896 trees were found, belonging to 99 species and 39 families. The most frequent type of tree was timber, followed by fodder and fruit (50, 27 and 27%, respectively). Fifty-four percent of the trees were present in the plots as individual trees, whereas the remainder formed small groups. Mean tree crown cover was 7%, with a mean density of 8.6 trees ha<sup>-1</sup>. The most abundant and frequent tree species were *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora* and *Acrocomia vinifera*. The trees presented a mean dbh of 44.8 cm, with *Enterolobium cyclocarpum* and *Samanea saman* presenting the tallest and widest crowns. It is concluded that although few species dominate the landscape, there is high tree species richness in the pasturelands of cattle farms, but they are maintained at low densities, probably in order not to affect animal productivity.

## INTRODUCCIÓN

Las pasturas en Centroamérica se han establecido, por lo general, inmediatamente después de la tumba, roza y quema o bien después de un corto período de cultivos agrícolas, dando lugar a un paisaje fragmentado por pasturas. Estas prácticas han acarreado la tala y la conversión de grandes extensiones de bosque hacia pasturas. Sin embargo, los beneficios de la conversión del bosque tropical a pastura son temporales ( $\pm 5$  años), debido principalmente a la rápida pérdida de nutrientes, compactación y erosión del suelo que resultan en la de-

gradación de la pastura (Lovejoy 1985, Nepstad *et al.* 1991). Por otro lado, la reducción de subsidios, la caída internacional del mercado de la carne y la leche y la poca sostenibilidad de los sistemas han creado la necesidad de buscar alternativas para diversificar y hacer más rentables y sostenibles las fincas ganaderas sin detrimento del medio ambiente.

Mantener o incrementar árboles dispersos en potreros representa una opción viable para incrementar la pro-

<sup>1</sup> Candidato doctoral en Agroforestería, CATIE, Sede Central. Profesor-Investigador UADY (Universidad Autónoma de Yucatán). Correo electrónico: hesqui@catie.ac.cr (autor para correspondencia).

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: mibrahim@catie.ac.cr; charvey@catie.ac.cr; cvillanu@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Escuela de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad de Gales, Bangor, UK. Correo electrónico: f.l.sinclair@bangor.ac.uk

ductividad y sostenibilidad de las fincas ganaderas. Esta estrategia permite la diversificación de productos y brinda otros beneficios productivos y ambientales. Los árboles aportan madera, postes, leña, productos medicinales y alimento para los humanos y el ganado. Además, proporcionan servicios ambientales tales como el secuestro de carbono, la conservación de la biodiversidad y el embellecimiento del paisaje (Schellas y Greenberg 1996, Guevara *et al.* 1998, Harvey y Haber 1999, Franke *et al.* 2001).

En Centroamérica, muchos ganaderos mantienen árboles dispersos en sus potreros, con una amplia distribución y composición de especies. Existen algunos estudios que han caracterizado los árboles en potreros (Guevara *et al.* 1998, Harvey y Haber 1999, Souza de Abreu *et al.* 2000) a través de inventarios parciales debido, generalmente, a la limitación de recursos (Souza de Abreu 2002). Sin embargo, el inventario completo de los árboles dispersos en potreros es necesario, pues permitirá entender la importancia social, ecológica y económica de este componente y, al mismo tiempo, generará información útil para el diseño de sistemas silvopastoriles. El objetivo de este estudio fue inventariar y caracterizar la cobertura arbórea en potreros de Cañas, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Cañas, Guanacaste, Costa Rica (10°25'N y 85°06'O, 60-250 msnm). El área está clasificada como Bosque Seco Tropical (Holdridge 1978). La precipitación anual varía de 1000 a 2500 mm, con una estación seca bien marcada, entre diciembre y abril. La temperatura promedio es de 27,6 °C, variando entre los 23 y 31 °C. Los suelos son de origen volcánico, bien drenados, con profundidades de hasta 100 cm.

De las 53 fincas disponibles en la base de datos del proyecto FRAGMENT<sup>4</sup>, se seleccionaron 16 con ganadería activa, distribuidas en cuatro grupos de acuerdo al tamaño y sistema de producción: a) fincas pequeñas (1-50 ha) con sistema de producción mixto (agricultura y ganadería; 4); b) fincas pequeñas (1-50 ha) con sistema de producción de carne (4); c) fincas medianas (50-100 ha) con sistema de producción de carne (5), y c) fincas grandes (> 100 ha) con sistema de producción de carne (3). Las 16 fincas se localizaron en la imagen Ikonos 2001 con una resolución espacial de 1 m y disponible para el proyecto TROF<sup>5</sup>, y se delinearon sus límites utilizando el programa Arcview GIS 3.2 con base en los planos catastrales. Se cla-



Árboles en potrero en Cañas, Costa Rica (proyecto FRAGMENT).

sificaron los usos del suelo de cada apartado en cada finca, en pasturas, bosques, bosques riparios, áreas agrícolas, charrales (áreas en regeneración natural) y asentamientos humanos. Se verificaron los usos del suelo y los límites de cada finca mediante visitas de campo y entrevistas con los productores. Se calculó el área total de la finca y el área de cada apartado utilizando sistemas de información geográfica (Arcview 3.2; ESRI, Redlands, CA, EUA).

El área total de las 16 fincas fue de 1073 ha, de las cuales 836 estuvieron cubiertas por pasturas. Se midió el diámetro a la altura del pecho (dap), altura total, altura del fuste y área de copa de todos los árboles encontrados (con dap >10 cm) y se identificó cada especie en el campo con el apoyo de un asistente local. Adicionalmente, cada especie arbórea fue clasificada de acuerdo con su uso (maderable, forrajera y frutal) y el arreglo (árboles individuales o grupos pequeños). El área de la copa fue calculada con la fórmula de la elipse, midiendo dos diámetros perpendiculares; los árboles en grupo se consideraron como una sola copa. La cobertura arbórea por potrero se determinó mediante la sumatoria del área de copa de los árboles dividida entre el área del potrero.

<sup>4</sup> Proyecto financiado por la Comunidad Europea (INCO), "Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes", CATIE.



### Análisis de la información

Los datos del inventario de árboles se analizaron mediante estadística descriptiva, por medio del programa InfoStat (2004). Las curvas de abundancia y de acumulación de riquezas se construyeron con el programa EstimateS (Colwell 1997) y BioDiversity Pro (McAleece 1997).

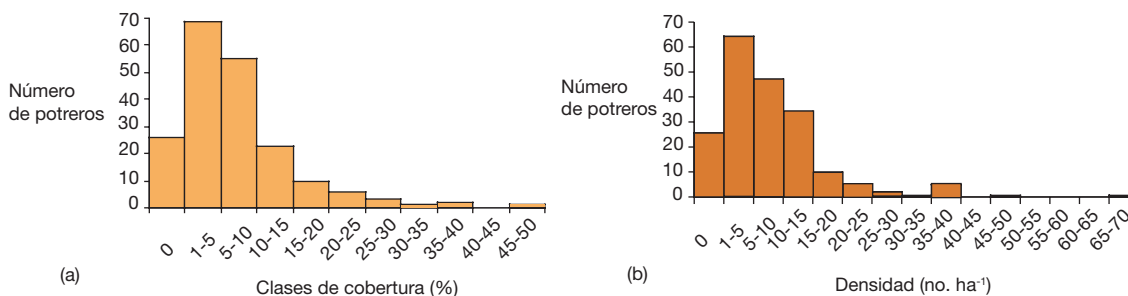
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los potreros, bosques riparios, cultivos agrícolas —principalmente caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), melón (*Cucumis* sp.) y sandía (*Passiflora* sp.)—, así como los árboles aislados en potreros, se encuentran comúnmente presentes en el paisaje. El tamaño promedio de las fincas es de 67,1 ha, de las cuales los potreros ocupan un 78%. Las pasturas mejoradas ocupan el 72% del área, y las pasturas naturalizadas el 28% restante. Las principales especies de pasto mejorado son *Brachiaria brizantha* y *Brachiaria decumbens*, y las especies naturalizadas son *Hyparrhenia rufa* y *Paspalum* spp.

Se encontraron 5896 árboles (dap >10 cm), pertenecientes a 39 familias y 99 especies. Se encontraron árboles dispersos en potreros en todas las fincas estudiadas y en el 87% de los potreros. La prevalencia de árboles dispersos en pasturas ha sido reportada por otros autores. En Costa Rica, Harvey y Haber (1999) encontraron árboles dispersos en el 100% de las fincas lecheras en Monteverde; Stokes *et al.* (2001) mencionan que el 88% de los productores en Cañas mantienen árboles en potreros, y Souza de Abreu (2002) encontró árboles en potreros en más del 90% de las fincas en San Carlos. Similarmente, en el Caribe de Colombia se han encontrado árboles en el 100% de las fincas (Cajas y Sinclair 2001) y, en Matiguás y Rivas (Nicaragua), en el 90% de ellas (Gómez *et al.*, datos sin publicar).

El 54% de los árboles se encuentra en forma individual y el 46% restante está formando pequeños grupos. La cobertura arbórea promedio por potrero fue de un 7%, con un amplio rango (0 a 49%; Figura 1a), donde la mayoría (93%) de los potreros presentó coberturas arbóreas menores al 20% y solamente el 7% de ellos coberturas mayores al 20%. La densidad promedio de árboles por potrero fue de 8,6 árboles ha<sup>-1</sup>, variando entre 1,4 y 14,8 árboles ha<sup>-1</sup> para las fincas y entre 0 y 68,0 árboles ha<sup>-1</sup> para los potreros (Figura 1b), donde el 92% de los potreros tuvo densidades menores a 20 árboles ha<sup>-1</sup> y el 7% mayores a esa cantidad. La gran variabilidad en cobertura arbórea se puede deber a factores como la topografía del terreno y las características del suelo, el tipo de finca y su localización, la carga animal y los objetivos y preferencias de los productores en cuanto a leñosas. La densidad de árboles encontrada en este estudio es similar a la reportada por otros investigadores en la misma zona (Morales y Kleinn 2001) y en fincas ganaderas de Chiapas, México (Otero-Araniz *et al.* 1999), lo cual sugiere que existe poca cobertura arbórea en las fincas ganaderas en general. La baja densidad de árboles en potreros se puede deber a los daños y la mortalidad de plántulas causada por el ganado en pastoreo y a la regulación por los ganaderos mediante el uso frecuente de herbicidas o chapeas (Camargo 2000).

Las especies de árboles dispersos más abundantes y frecuentes en los potreros son roble (*Tabebuia rosea*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), laurel (*Cordia alliodora*), coyol (*Acrocomia vinifera*), nance (*Byrsonima crassifolia*) y corteza amarilla (*Tabebuia ochracea*), las cuales conforman cerca del 60% del total de individuos. Otras especies comunes, aunque menos abundantes, son pochote



**Figura 1.** Distribución de frecuencias de la cobertura arbórea (a) y de la densidad (b) de árboles dispersos en los potreros ( $n = 199$ ) de 16 fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica, 2002.

(*Pachira quinata*), jiñote (*Bursera simaruba*), jenízaro (*Samanea saman*), cedro (*Cedrela odorata*) y guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*; Cuadro 1), las cuales concuerdan con la preferencia de los productores por mantener las especies dentro los de potreros (Muñoz 2004). Algunos estudios demuestran que, en general, las fincas ganaderas de América Latina presentan una alta diversidad de especies arbóreas, aunque muchas especies se encuentran en bajas densidades (Guevara *et al.* 1998, Harvey y Haber 1999, Otero-Arnaiz *et al.* 1999, Cajas y Sinclair 2001). Esta gran riqueza de especies pudiera estar relacionada a estrategias de los productores para diversificar sus ingresos y aprovechar el valor comercial de los árboles maderables, obtener follaje y frutos para alimentar el ganado y proporcionar medicinas y alimentos a los propios ganaderos y a la fauna silvestre (Stokes 2001).

De las 99 especies registradas, 20 están representadas solamente por un individuo y siete por dos. Esta situación puede acarrear la pérdida de algunas especies valiosas en el futuro debido a su tala o cosecha, ya que su adecuada conservación recae en prácticas de manejo que favorezcan su regeneración. Contrariamente a la riqueza, la abundancia de la mayoría de las especies es baja, ya que son pocas las que dominan el paisaje. Esto se puede deber a la preferencia de los productores por

seleccionar algunas especies que les sean más favorables, o bien, a la capacidad de regeneración de algunas especies resistentes al fuego —como el coyol— o especies cuyas semillas ya han sido previamente descascarificadas por el ganado, como guácimo, guanacaste y jenízaro. El uso más frecuente de los árboles encontrados fue el maderable, seguido por especies forrajeras y frutales (50, 27 y 27%, respectivamente).

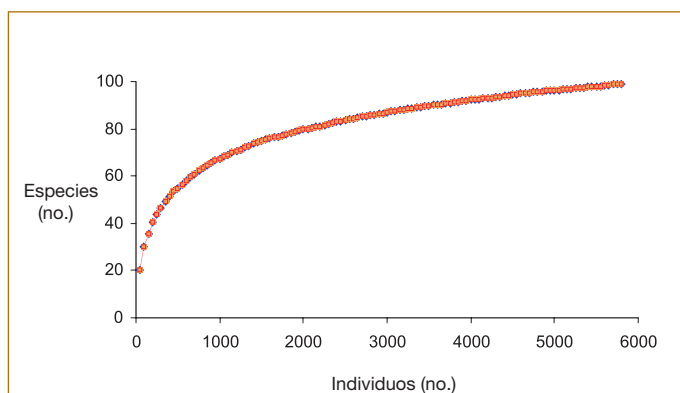
En las condiciones de Cañas, la curva de acumulación de especies (Figura 2) muestra una tendencia a incrementarse conforme se incrementa el número de potreros inventariados, y que aproximadamente el 80% de las especies se encuentran inventariando alrededor de 2000 individuos. Esta tendencia puede indicar que hay que hacer inventarios en grandes áreas para encontrar todas las especies presentes.

El dap promedio de los árboles encontrados fue de 44,8 cm, con un rango de entre 10 y 269,7 cm. La mayoría (71%) de los árboles presentó un dap de entre 20 y 60 cm, mientras que el 9,8 y 3,8% de los árboles presentaron un dap de entre 10 y 20 cm, y más de 100 cm, respectivamente (Figura 3). Guácimo, guanacaste, *Ficus* spp., jenízaro, pochote, canelo y nance son las especies de árboles con más individuos grandes (dap >100 cm).

**Cuadro 1.** Especies de árboles dispersos más frecuentes y abundantes en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica, 2002.

Nombre científico	Familia	Abundancia			Frecuencia	
		n	% <sup>z</sup>	% <sup>y</sup>	Fincas <sup>x</sup>	Potr <sup>w</sup>
<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae	756	12,8	12,8	15	119
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Sterculiaceae	742	12,6	25,4	16	117
<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	707	12,0	37,4	16	85
<i>Acrocomia vinifera</i>	Arecaceae	632	10,7	48,1	15	78
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae	434	7,4	55,5	14	61
<i>Tabebuia ochracea</i>	Bignoniaceae	265	4,5	60,0	14	73
<i>Pachira quinata</i>	Bombacaceae	183	3,1	63,1	13	33
<i>Andira inermis</i>	Papilionaceae	169	2,9	65,9	14	69
<i>Lonchocarpus</i> sp.	Papilionaceae	158	2,7	68,6	16	55
<i>Acosmium panamense</i>	Papilionaceae	140	2,4	71,0	9	36
<i>Bursera simaruba</i>	Burceraceae	127	2,2	73,2	13	29
<i>Maclura tinctoria</i>	Moraceae	98	1,7	74,8	12	42
<i>Ocotea veraguensis</i>	Lauraceae	97	1,7	76,5	9	40
<i>Hymenaea courbaril</i>	Caesalpinaceae	82	1,4	77,8	11	43
<i>Spondias purpurea</i>	Anacardiaceae	81	1,4	79,2	12	30
<i>Samanea saman</i>	Mimosaceae	77	1,3	80,5	12	39
<i>Myrospermum frutescens</i>	Papilionaceae	74	1,2	81,8	10	34
<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	67	1,1	82,9	12	43
<i>Lonchocarpus felipei</i>	Papilionaceae	58	1,0	83,9	11	32
<i>Gliricidia sepium</i>	Papilionaceae	58	0,9	84,9	5	10
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae	57	0,9	85,9	14	37
Otras especies	Varias	834	14,1	100,0	nd	nd

<sup>z</sup> porcentaje del total de individuos ( $n=5896$ ); <sup>y</sup> porcentaje acumulado; <sup>x</sup> número de fincas ( $n=16$ ) en las que la especie está presente; <sup>w</sup> número de potreros ( $n=199$ ) en que la especie está presente; nd = no disponible.



**Figura 2.** Curva de acumulación de especies de árboles dispersos en potreros ( $n=5896$ ) de fincas ganaderas ( $n=16$ ) en Cañas, Costa Rica, 2002.

Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre especies para las variables dasométricas y el área de copa medidas en los árboles individuales (Cuadro 2). Guanacaste, jenízaro y guácimo, usados principalmente como sombra para el ganado, presentaron los mayores dap, mientras que coyol, roble y corteza amarilla presentaron los menores dap. El nance y el canelo fueron las especies de menor altura y menor tamaño de fuste. Guanacaste y jenízaro fueron las especies con mayor tamaño de copa, seguidas por canelo, guácimo y almendro; mientras que el roble y el coyol fueron las especies de árboles de menor área de copa. Las diferencias dasométricas entre las especies, las preferencias de los productores y el uso de herbicidas podrían estar afectando la densidad y composición de especies (abundancia y frecuencia) arbóreas en potreros.

Estudios de conocimiento local en la zona muestran que los productores prefieren especies de alto valor maderable, así como también especies que proporcionen forraje y frutos a los animales (Muñoz 2003). Las especies maderables valiosas con grandes copas como guanacaste y jenízaro se encontraron dispersas en potreros en bajas densidades ( $< 2\%$ ); esto sugiere que árboles con grandes copas puedan ser mantenidos a bajas densidades en los potreros para brindar sombra y confort al ganado sin interferir con la producción animal. Sin embargo, lo más probable es que los productores no van a manejar mayores densidades de estas especies en potreros; por lo tanto, hay que buscar otras estrategias para incrementar la densidad arbórea en potreros.

### CONCLUSIONES

Se encontraron árboles en todas las fincas inventariadas y en el 87% de los potreros. Cerca de la mitad de los árboles se encuentran dispersos, con menos de 20 especies dominando el paisaje. Roble, coyol, guácimo y laurel son las especies de árboles más abundantes en los potreros de las fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica.

La cobertura y densidad de árboles es baja, irregular y dispersa en los potreros, porque la mayoría de los árboles fueron generalmente eliminados durante el establecimiento de pasturas en monocultivos, pero los rangos de dap observados constituyen un indicador de la regeneración natural de árboles en potreros.

Los ganaderos tienden a manejar una amplia diversidad de especies en sus potreros para satisfacer diferentes necesidades. Las especies con grandes copas —como guana-

**Cuadro 2.** Área de copas y algunas variables dasométricas de las principales especies arbóreas dispersas en potreros de fincas ganaderas en Cañas, Costa Rica, 2002.

Especie	Área de copa promedio ( $m^2$ árbol <sup>-1</sup> )	dap promedio (cm)	Altura total promedio (m)	Altura del fuste promedio (m)	Densidad (no. ha <sup>-1</sup> )	CC (%) <sup>z</sup>
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	481,7 a	92,6 a	15,9 a	3,8 a	0,05	3,8
<i>Samanea saman</i>	303,1 b	57,5 c	14,2 b	3,1 ab	0,07	4,1
<i>Maclura tinctoria</i>	154,9 c	42,7 d	11,8 cd	1,9 d	0,09	1,6
<i>Andira inermis</i>	147,9 c	60,0 b	9,9 ef	2,5 bcd	0,16	4,3
<i>Guazuma ulmifolia</i>	141,6 c	58,9 bc	10,8 e	2,7 bcd	0,69	15,1
<i>Pachira quinata</i>	117,5 d	53,7 c	12,1 cd	3,6 a	0,17	3,2
<i>Byrsonima crassifolia</i>	99,0 d	50,1 c	8,6 f	2,1 cd	0,40	7,8
<i>Tabebuia ochraceae</i>	95,1 d	33,6 e	10,9 de	3,4 a	0,25	4,2
<i>Cordia allidora</i>	89,2 d	43,0 d	13,4 bc	3,8 a	0,66	10,8
<i>Lonchocarpus</i> sp.	68,7 e	31,5 e	9,0 f	2,5 bc	0,15	1,8
<i>Tabebuia rosea</i>	63,7 e	36,6 e	10,7 de	3,6 ab	0,70	10,7
<i>Acrocomia vinifera</i>	21,2 f	36,4 e	9,9 ef	na	0,59	2,5

Promedios con letra igual en la misma columna no son estadísticamente diferentes ( $P > 0,05$ ).

<sup>z</sup>CC: Cobertura de copas, expresada en porcentaje del área total de cobertura (53,0 ha).

caste y jenízaro— son mantenidas en bajas densidades, mientras que las especies con áreas de copa menor —como coyol, laurel y roble— se encuentran en mayores densidades.



Ganado aprovechando la sombra de los árboles en un potrero en Cañas, Costa Rica (proyecto FRAGMENT).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Bertino Jiménez, Alexis Pérez y Paulo Dittel, por su invaluable asistencia en el campo, y a Stefan Kunth, por su apoyo con las imágenes.

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

Cajas-Jiron, Y; Sincalir, F. 2001. Characterization of multistrata sivo-pastoril system on seasonally dry pastures in the Caribbean region of Colombia. *Agroforestry Systems* 53:215-225.

Camargo, JC; Ibrahim, M; Somarriba, E; Finegan, B; Current, D. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural de laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26):46.

Colwell, RK. 1997. Estimates. Statistical estimation of species richness and shared species from samples (en línea). Estados Unidos, University of Connecticut. Disponible en <http://vicero-y.eeb.uconn.edu/estimates>.

Frankie, I; De Melo, E; Ferreira, J; Alexander, V. 2001 Effect of shading by native tree legumes on chemical composition of forage produced by *Penisetum purpureum* in Acre western Brazilian

Amazon. *In* International symposium on silvopastoril systems. Silvopastoril systems for reforestation of degraded tropical pasture ecosystems (2001, San José, CR). Ed. M. Ibrahim. p. 197-202.

Gibbons, P; Boak, M. 2002. The value of paddocks trees for regional conservation in an agricultural landscape. *Ecological Management* 3(3):207-212.

Guevara, S; Laborde, J; Sanchez, G. 1998. Are isolated trees in pastures a fragmented canopy? *Selbyana* 19(1):34-43.

Harvey, CA; Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44:37-68.

InfoStat. 2004. InfoStat version 2004. Córdoba, AR, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.

Kaimowitz, D. 2001. Will livestock intensification help save Latin America Tropical Forest? *In* Angelsen, A; Kaimowitz, D. eds. *Agricultural technologies and tropical deforestation*. Wallingford, UK, CABI Publishing. p. 1-20.

Kleinn, C. 1992. On the compatibility of forest inventory results— The problem of compatible forest definitions. IUFRO conference on integrating forest management over space and time (1992, Canberra, AU). *Proceedings*. p. 13-17.

Lovejoy, TE. 1985. Rehabilitation of degraded tropical forest lands. *Environmentalist* 5:1-8.

Morales, D; Kleinn, C. 2001. El proyecto TROF. Algunas experiencias preliminares en Centro América. Taller Latinoamericano sobre información de árboles fuera de bosque y productos no maderables del bosque (2001, Caracas, VE). Síntesis. 8 p.

McAleece, N; Lambshead, J; Patterson, G; Gage, J. 1997. BioDiversity professional (en línea). The Natural History Museum and the Scottish Association for Marine Science. Consultado 24 oct. 2003. Disponible en <http://www.sams.ac.uk/dml/projects/benthic/dbpro/index.htm>

Muñoz, D. 2004. Conocimiento local sobre cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 206 p.

Nepstad, D; Uhl, C; Serrao, AS. 1990. Surmounting barriers to forest regeneration in abandoned, highly degraded pastures: a case study from Paragomiinas, Para, Brazil. *In* Anderson, AA. ed. *Alternatives to deforestation: Steps towards sustainable use of the Amazon rain forest*. Nueva York, US, Columbia University Press. p. 215-229.

Otero-Arnaiz, A; Castillo, S; Meave, J; Ibarra-Manriquez, G. 1999. Isolated pasture and the vegetation under their canopies in the Chiapas coastal plain, Mexico. *Biotropica* 31(2):243-254.

Schelhas, J; Greenberg, R. 1996. *Forest patches in tropical landscapes*. Washington, DC, US, Island press. 426 p.

Souza de Abreu, MH; Ibrahim, M; Harvey, C; Jiménez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de la Fortuna de San Carlos. Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26):53-56.

\_\_\_\_\_. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. Thesis Ph.D. Turrialba, CR, CATIE. 146 p.

Stokes, LK. 2001. Farmers’ knowledge about the management and use of trees on livestock farms in the Cañas area of Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Bangor, UK, University of Wales. 78 p.

Szotts, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hanger: Cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE. 71 p. (Serie Técnica, Informe técnico no. 313).

## Avances de investigación

# Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central<sup>1</sup>

Celia A. Harvey<sup>2</sup>; Cristóbal Villanueva<sup>2</sup>; Jaime Villacís<sup>2</sup>; Mario Chacón<sup>2</sup>; Diego Muñoz<sup>2</sup>; Marlon López<sup>3</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>2</sup>; René Gomez<sup>3</sup>; Rachel Taylor<sup>4</sup>; Jorge Martínez<sup>2</sup>; Alexander Navas<sup>2</sup>; Joel Sáenz<sup>5</sup>; Dalia Sánchez<sup>6</sup>; Arnulfo Medina<sup>6</sup>; Sergio Vilchez<sup>6</sup>; Blas Hernández<sup>6</sup>; Alexis Pérez<sup>2</sup>; Francisca Ruiz<sup>2</sup>; Fátima López<sup>2</sup>; Ivan Lang<sup>4</sup>; Stefan Kunth<sup>7</sup>; Fergus L. Sinclair<sup>4</sup>

**Palabras claves:** conservación de biodiversidad; Costa Rica; manejo de finca; caracterización de paisaje; conectividad de paisaje; conocimiento local; Nicaragua.

### RESUMEN

Las cercas vivas son elementos conspicuos de los paisajes agrícolas a lo largo de América Central, pero existe poca información acerca de su abundancia, distribución y función. Aquí se presenta un análisis de sus roles ecológico y agronómico, a partir de inventarios detallados tanto a escala de finca como de paisaje, en cuatro áreas contrastantes de producción de ganado en Costa Rica y Nicaragua. Las cercas vivas fueron comunes en los cuatro paisajes, ocurriendo en entre el 49% y 89% de las fincas ganaderas, con un promedio total de 0,14 ( $\pm 0,01$ ) km ha<sup>-1</sup> de la finca y una media de casi 20 cercas por finca. Se registró un total de 168 especies de árboles y palmeras en las cercas vivas. La abundancia, composición de especies y estructura de las cercas vivas variaron entre las fincas y los paisajes, reflejando diferencias en condiciones ambientales y estrategias de manejo. En todos los paisajes, los principales roles productivos de las cercas vivas fueron los de dividir las pasturas y actuar como barreras para el movimiento de animales, aunque también sirvieron como fuentes de forraje, leña, madera y frutos. Desde una perspectiva ecológica, la presencia de cercas vivas aumentó en gran medida la cobertura arbórea, con las copas de los árboles cubriendo desde el 3,2 hasta el 12% del total del área de pastura de los paisajes estudiados. Las mismas fueron particularmente importantes para aumentar la conectividad estructural de los hábitats arbolados en el paisaje. Más de 170 especies de aves, murciélagos, escarabajos estercoleros y mariposas fueron registradas en las cercas vivas monitoreadas en dos de los paisajes. Aquí se argumenta que las cercas vivas son aspectos importantes de los paisajes agrícolas, que merecen mucha más atención en las estrategias de manejo sostenible de la tierra, y deben ser un elemento explícito en las regulaciones y los incentivos que tienen como objetivo mejorar la integridad ecológica de los paisajes rurales en América Central.

**Contribution of live fences to farm productivity and ecological integrity of agricultural landscapes in Central America**

**Key words:** Biodiversity conservation; Costa Rica; farm management; landscape characterization; landscape connectivity; local knowledge; Nicaragua.

### ABSTRACT

Live fences are conspicuous features of agricultural landscapes across Central America but there is remarkably little information about their abundance, distribution, and function. Here we present an analysis of their ecological and agronomic roles from detailed inventories at both farm and landscape scales in four contrasting cattle producing areas of Costa Rica and Nicaragua. In all four landscapes, live fences were common, occurring on between 49% and 89% of cattle farms, with an overall mean of 0.14 ( $\pm 0.01$ ) km ha<sup>-1</sup> of farm land and a mean of almost 20 fences per farm. A total of 168 tree and palm species were recorded in the live fences. The abundance, species composition and structure of live fences varied across farms and landscapes, reflecting differences in environmental conditions and management strategies. In all landscapes the main productive roles of live fences were to divide pastures and serve as barriers to animal movement, although they also served as sources of fodder, firewood, timber, and fruits. From an ecological perspective, the presence of live fences greatly enhanced tree cover, with tree crowns in live fences covering from 3.2 to 12% of the total pasture area of the landscapes studied. They were particularly important in increasing the structural connectivity of woody habitat across the landscape. Over 170 species of birds, bats, dung beetles, and butterflies were recorded in live fences monitored in two landscapes. It is argued here that live fences are important features of agricultural landscapes that merit much greater attention in sustainable land management strategies and need to be an explicit element in regulations and incentives that aim to enhance the ecological integrity of rural landscapes in Central America.

<sup>1</sup> Basado en: Harvey, C.A., C. Villanueva, J. Villacís, M. Chacón, D. Muñoz, M. López, M. Ibrahim, R. Gómez, R. Taylor, J. Martínez, A. Navas, J. Sáenz, D. Sánchez, A. Medina, S. Vilchez, B. Hernández, A. Pérez, F. Ruiz, F. López, I. Lang, F. L. Sinclair. Contribution of live fences to the productivity and ecological integrity of agricultural landscapes in Central America (presentado a la revista *Agriculture, Ecosystems and Environment*).

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: charvey@catie.ac.cr (autor para correspondencia), cvillanu@catie.ac.cr, villacis@catie.ac.cr, mchacon@catie.ac.cr, dmunoz@catie.ac.cr, lopezm@catie.ac.cr, mibrahim@catie.ac.cr, aperez@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Nitlapán, Managua, Nicaragua. Correo electrónico: rene\_gomez@hotmail.com

<sup>4</sup> University of Wales, Bangor, Reino Unido. Correos electrónicos: fidhw@yahoo.com, f.l.sinclair@bangor.ac.uk

<sup>5</sup> Programa Regional de Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional Autónoma, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: jsaenz@una.ac.cr

<sup>6</sup> Fundación Cocibolca, Nicaragua. Correos electrónicos: dsanchez02@hotmail.com, arfortoria@hotmail.com, tipitapa13@hotmail.com, reise3us@yahoo.com

<sup>7</sup> Universidad de Gottingen, Alemania. Correo electrónico: skunth@gwdg.de

## INTRODUCCIÓN

Las cercas vivas son comunes en América Central, donde delimitan los campos agrícolas, las pasturas y los límites de las fincas, y forman elaboradas redes de cobertura arbórea a lo largo de los paisajes rurales. La presencia de cercas vivas no solo se da en áreas biofísicamente diversas, con diferentes elevaciones, zonas ecológicas y tipos de suelo, sino también en aquellas con distintas culturas, historias de uso del suelo y producción agrícola, principalmente plantaciones de café, pasturas y jardines (Sauer 1979, Budowski 1987). En algunas regiones agrícolas donde la deforestación y la conversión a agricultura han sido elevadas, las cercas vivas constituyen la forma más prevalente de cobertura arbórea que permanece en el paisaje.

A pesar de la preeminencia de las cercas vivas en América Central, existe poca información acerca de sus roles funcionales dentro de los paisajes agrícolas. Aparte de unas pocas descripciones generales de las cercas vivas y su manejo (Sauer 1979, Lagemann y Heuveldop 1983, Budowski 1987), escasea la información en relación con su abundancia, densidad o distribución y su variación en las fincas y los paisajes. Igualmente, aunque varios estudios han analizado aspectos específicos de las cercas vivas, tales como la producción de forraje (Beer 1987, Beringer y Salas 2003), el establecimiento (Somarriva 1995), las tasas de crecimiento (Beer 1987) o la capacidad de enraizamiento (Lozano 1962), pocos han considerado en forma holística el rango de productos, servicios ambientales y funciones ecológicas que proveen. Los roles ecológicos de las cercas vivas como potenciales hábitats, recursos y corredores para la vida silvestre han sido particularmente descuidados, con la excepción de unos pocos estudios llevados a cabo en México (Estrada *et al.* 1993, 2000, Estrada y Coates-Estrada 2001).

El objetivo de este trabajo es llamar la atención sobre el predominio de las cercas vivas dentro de los paisajes agrícolas, para destacar tanto sus funciones agronómicas como ecológicas, y discutir su potencial contribución al desarrollo sostenible y las iniciativas de conservación en América Central. Nuestra evaluación se basa en un conjunto de estudios integrados de las cercas vivas en cuatro paisajes agrícolas contrastantes dominados por producción ganadera en Costa Rica (Cañas y Río Frío) y Nicaragua (Rivas y Matiguás), aunque los principios generales aquí identificados probablemente sean aplicables a los paisajes agrícolas en América Central en general. Para los propósitos de este trabajo, consideramos como cercas vivas aquellas “cercas establecidas median-

te el plantado de estacas grandes, las cuales fácilmente producen raíces y sobre las que se fijan varios hilos de alambre con el obvio propósito de mantener al ganado dentro o fuera” (Budowski 1987). Aunque su composición y estructura varían de un sitio a otro, la mayoría de las cercas vivas consisten de una o dos especies perennes leñosas (aunque en algunas ocasiones se incluyen especies herbáceas) que se plantan a intervalos regulares, en línea recta, adyacentes a los potreros de cultivo o a lo largo de los límites de la finca (Sauer 1979).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron las cercas vivas en cuatro paisajes agrícolas, donde el pastoreo de ganado vacuno era el tipo predominante de uso del suelo: Cañas y Río Frío en Costa Rica, y Matiguás y Rivas en Nicaragua. Cañas y Rivas son zonas típicas de sistemas de producción de ganado en la vertiente Pacífica con estación seca de Centroamérica, con sistemas de manejo extensivo para producción de carne en Cañas y doble propósito (carne y leche) en Rivas. En contraste, Río Frío es una región de producción lechera sobre la vertiente húmeda del Atlántico de Costa Rica, con fincas más pequeñas e intensivas que las de Cañas. La región de Matiguás es una de las zonas claves de producción ganadera en el centro de Nicaragua, concentrada en la producción de ganado de doble propósito, en un área de transición entre el bosque tropical seco y húmedo. Las fincas de esta localidad están dedicadas casi exclusivamente a la producción de ganado vacuno, mientras que aquellas en Rivas integran la producción de ganado con la producción agrícola. En cada paisaje, se seleccionó un área de aproximadamente 10000 a 16000 ha como representativa del paisaje de la región. Cada uno de estos paisajes estaba dominado por pasturas, las cuales daban cuenta del 48 al 68% de la tierra, mientras que existían pocos remanentes de cobertura boscosa (8,2 a 23,3%), y estos eran generalmente en forma de pequeños parches de bosque y franjas riparias.

Los datos sobre las cercas vivas se recopilaron en una serie de estudios integrados que forman parte del proyecto FRAGMENT, cuyo objetivo es comprender los roles de los árboles en la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de la productividad de la finca en paisajes fragmentados dominados por la agricultura. Estos estudios incluyeron: 1) una encuesta socioeconómica de una muestra al azar de 53 a 100 fincas en cada paisaje, en la cual se recogieron datos sobre características de la finca, uso del suelo y cobertura arbórea; 2) un inventario completo de la composición florística, estructura y arreglo espacial de las cercas vivas presentes en

una muestra estratificada de 12 a 16 fincas ganaderas en cada paisaje, basado en sistemas de producción; 3) adquisición del conocimiento local que los finqueros poseen sobre las cercas vivas; 4) monitoreo del manejo de la finca, incluyendo información sobre el establecimiento de las cercas vivas, manejo y poda, en 12 a 16 fincas en cada paisaje durante un año; 5) estudios de la fauna (aves, murciélagos, escarabajos estercoleros y mariposas) presente en las cercas vivas, y 6) una caracterización del patrón espacial de las cercas vivas y su contribución a la conectividad del paisaje en un sitio (Río Frío, Costa Rica) (Cuadro 1).

Los detalles de los métodos utilizados en la encuesta socioeconómica se pueden encontrar en Restrepo (2002), Villacis (2003) y Gómez *et al.* (en prensa); los métodos sobre los inventarios de las cercas vivas están reportados en Villacis (2003) y López *et al.* (en prensa); Joya Díaz (2004), Martínez Rayo (2003) y Muñoz (2004) describen los estudios sobre conocimiento local, mientras que los detalles sobre los estudios de biodiversidad pueden encontrarse en Harvey *et al.* (en preparación). Por último, la descripción de los estudios de la contribución de las cercas vivas a la conectividad del paisaje se puede encontrar en Chacón (2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Abundancia de cercas vivas en fincas y paisajes

Las cercas vivas estuvieron presentes en los cuatro paisajes, representando un componente importante de la cobertura arbórea de la finca. Se inventariaron 1195

cercas vivas en los cuatro paisajes, con 60536 árboles, de los cuales aproximadamente la mitad tenían un diámetro a la altura del pecho (dap) >10 cm y abarcaban un largo total de 196,4 km (Cuadro 2). Se registró un total de 51226 postes de madera (postes muertos) dentro de las cercas vivas, lo cual indica que los finqueros suelen combinar postes de madera vivos y muertos dentro de la misma cerca. En cada paisaje hubo también cercas que consistían solamente de postes de madera muertos, que representaron el 14% de todas las cercas existentes en los sitios.

La abundancia y diversidad de las cercas vivas varió de una finca a otra tanto entre los paisajes como dentro de ellos. Las cercas vivas estuvieron presentes en más del 80% de las fincas en tres de los sitios, mientras que en Rivas ocurrieron en un poco menos de la mitad de las fincas (Cuadro 3). Había típicamente más de 22 cercas vivas por finca, aunque muchas menos en Rivas. La longitud total de las cercas vivas por finca también fue variable, con una media general de apenas más de 3 km finca<sup>-1</sup>, dándose el largo mayor en Cañas, donde se encuentran las fincas más grandes. La longitud promedio de las cercas vivas fue de 0,14 km ha<sup>-1</sup> de la finca y el promedio de la longitud de las cercas vivas fue de 0,22 km ha<sup>-1</sup> de pastura; esto fue significativamente mayor en Río Frío en comparación con otros sitios ( $p < 0,001$  por km de cerca viva ha<sup>-1</sup> de la finca y  $p = 0,0006$  por longitud de cerca viva por km ha<sup>-1</sup> de pastura).

**Cuadro 1.** Resumen de la recolección de datos en cercas vivas en los cuatro sitios de estudio, como parte del proyecto FRAGMENT.

Datos recolectados de cercas vivas	Cañas, Costa Rica	Río Frío, Costa Rica	Rivas, Nicaragua	Matiguás, Nicaragua	Los cuatro sitios
Número de finqueros entrevistados en la encuesta socioeconómica	53	71	57	100	281
Número de fincas en las que se inventariaron cercas vivas	15	16	12	15	58
Área total de la finca investigada para cercas vivas (ha)	1030,5	157,9	385,4	418,3	1992,1
Área total de pasturas investigada para cercas vivas (ha)	800,7	117,9	248,6	324,6	1491,8
Número de árboles (dap >10 cm) dentro de las cercas vivas medidos para diámetro, altura y radio de copa	3,331	1,377	530	1,737	6,975
Número de informantes claves entrevistados acerca del conocimiento local de las cercas vivas	25	25	20	25	95
Área en la cual la distribución especial de las cercas vivas fue mapeada (ha)	N/D	500	N/D	N/D	500
Número de cercas vivas en las cuales se muestrearon aves, murciélagos, escarabajos estercoleros y mariposas	8	8 <sup>z</sup>	8	8 <sup>z</sup>	16

<sup>z</sup> En proceso.

**Cuadro 2.** Resumen del número de cercas vivas, árboles y postes de madera, y longitud de las cercas vivas en los cuatro sitios de estudio.

Datos recolectados de cercas vivas	Cañas, Costa Rica	Río Frío, Costa Rica	Rivas, Nicaragua	Matiguás, Nicaragua	Los cuatro sitios
Número de cercas vivas	385	409	71	330	1195
Número de cercas muertas	51	1	69	83	204
% de cercas vivas del total	88,3%	99,8%	50,8%	80%	85,4%
Número de árboles registrados con dap >10 cm	20974	3812	1852	3464	30102
Número de árboles registrados con dap <10 cm	11477	12205	1958	4794	30434
Número de postes muertos en las cercas vivas	25374	5689	12160	8003	51226
Longitud total de las cercas vivas (m)	83551	35475	35610	41772	196408

**Cuadro 3.** Resumen de la abundancia y distribución de las cercas vivas en fincas ganaderas en los cuatro paisajes.

Variable	Cañas, Costa Rica	Río Frío, Costa Rica	Rivas, Nicaragua	Matiguás, Nicaragua	Los cuatro sitios
% de fincas con cercas vivas	89	87	49	88	80
Número promedio de cercas vivas por finca	25,7 ± 3,0	25,6 ± 6,3	4,7 ± 0,6	22,2 ± 2,0	19,6 ± 2,1
Número mín-máx de cercas vivas por finca	8-46	6-79	2-9	4-32	2-79
Longitud promedio total de cercas vivas por finca (m)	5570 ± 957	2217 ± 249	2374 ± 336	2785 ± 280	3220 ± 314
Km promedio de cercas vivas por ha de finca	0,09 ± 0,01	0,23 ± 0,03	0,11 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,14 ± 0,01
Km promedio de cercas vivas por ha de pastura	0,14 ± 0,02	0,34 ± 0,05	0,21 ± 0,04	0,16 ± 0,02	0,22 ± 0,02

Los datos sobre el porcentaje de fincas con cercas vivas provienen de las encuestas socioeconómicas ( $n = 53$  en Cañas,  $73$  en Río Frío,  $57$  en Rivas y  $100$  en Matiguás).

### Composición de especies

Se encontró un total de 168 especies de plantas en las cercas vivas de los cuatro sitios, de las cuales 166 fueron especies de árboles y dos de palmeras. Con la excepción de Rivas, unas pocas especies plantadas deliberadamente por los finqueros fueron las dominantes (Cuadro 4). En Río Frío, por ejemplo, *Erythrina* spp. y *Gliricidia sepium* representaron el 75,6 y 11,1% de los árboles, respectivamente, y el número promedio de especies por cerca fue de 1,5. En Cañas las cercas vivas fueron más ricas en especies, con un promedio de aproximadamente cuatro especies de árboles por cerca, pero igualmente dos especies, *Bursera simaruba* y *Pachira quinata*, fueron las dominantes, representando el 54,2% y 27,6% de todos los árboles de las cercas vivas, respectivamente. En el sitio de Matiguás, las cercas vivas también estuvieron dominadas por *B. simaruba* (representando poco más de la mitad de los árboles) y en menor medida por *Guazuma ulmifolia*, *P. quinata* y *G. sepium*. En contraste, en el sitio de Rivas en Nicaragua las cercas vivas estuvieron compuestas de una mezcla de diferentes especies (la mayoría originadas a partir de regeneración natural), y la riqueza de especies de las cercas in-

dividuales fue también considerablemente más alta. Un rasgo común a todos los sitios fue que todas las especies encontradas en las cercas vivas eran nativas o naturalizadas.

Aunque la riqueza de especies de las cercas vivas individuales fue generalmente baja, la riqueza de especies combinada de las cercas vivas a las escalas de finca y paisaje fue más alta (Cuadro 4). Por ejemplo, en el nivel de finca la riqueza de especies tuvo un rango promedio de 4,8 a 24,8 especies, mientras que en el nivel de paisaje fue de 27 a 85 especies por sitio. La mayor riqueza de especies a estas escalas mayores refleja la inclusión por parte de los finqueros de árboles relictuales cuando establecen las cercas vivas, a veces incluso moviendo ligeramente la ubicación propuesta de una cerca, de manera tal que pueda incluir árboles existentes en la pastura, o permitiendo que ocurra algo de regeneración natural dentro de la cerca. Las diferencias en la composición de las cercas vivas entre las fincas y los paisajes reflejaron diferencias en las condiciones ecológicas y físicas, así como diferencias en la manera en la cual los finqueros establecieron y manejaron sus cercas vivas.



**Cuadro 4.** Composición de especies de cercas vivas de Río Frío, Cañas y Rivas, basada en árboles con diámetros >10 cm.

	Cañas, Costa Rica (n = 20974 árboles en 385 cercas vivas)	Río Frío, Costa Rica (n = 3812 árboles en 409 cercas vivas)	Rivas, Nicaragua (n = 1852 árboles en 71 cercas vivas)	Matiguás, Nicaragua (n = 3464 árboles en 330 cercas vivas)
Número promedio de especies arbóreas por cerca viva	4,10 ± 0,14	1,38 ± 0,04	7,48 ± 0,64	3,12 ± 0,15
Número promedio de especies arbóreas por finca	24,8 ± 2,4	4,8 ± 0,7	17,33 ± 2,5	20,3 ± 2,0
Número total de especies arbóreas encontradas en cercas vivas	85	27	73	72
Número total de especies arbóreas plantadas deliberadamente	13	2	28	23
% de árboles de especies plantadas	92,2	86,6	38,4	~75
	<i>Bursera simaruba</i> (54,2%)	<i>Erythrina costaricensis</i> (75,6%)	<i>Guazuma ulmifolia</i> (9,06%)	<i>Bursera simaruba</i> (50,1%)
	<i>Pachira quinata</i> (27,6%)	<i>Gliricida sepium</i> (11,1%)	<i>Cordia dentata</i> (8,44%)	<i>Guazuma ulmifolia</i> (8,7%)
Cinco especies de árboles más comunes presentes en cercas vivas (% de todos los árboles inventariados)	<i>Ficus</i> spp. (3,8%)	<i>Cordia alliodora</i> (2,8%)	<i>Acacia collinsii</i> (7,01%)	<i>Pachira quinata</i> (7,1%)
	<i>Gliricida sepium</i> (1,9%)	<i>Bursera simaruba</i> (2,6%)	<i>Myrospermum frutescens</i> (6,67%)	<i>Gliricida sepium</i> (5,5%)
	<i>Tabebuia rosea</i> (1,9%)	<i>Dracaena fragrans</i> (1,8%)	<i>Simarouba glauca</i> (6,3%)	<i>Erythrina berteroa</i> (4,4%)

### Estructura de las cercas vivas

La combinación de diferentes especies de árboles, distancia de siembra, y frecuencia e intensidad de la poda crea cercas vivas con diversos tamaños, formas y composición (Cuadro 5). La mayoría de las cercas vivas eran cortas (con una longitud promedio de 164,2 m), aunque la longitud de las cercas vivas individuales varió desde 4 m hasta casi 2 km. Las cercas vivas fueron generalmente más largas en las regiones de bosque seco (Rivas y Cañas) que en los otros dos sitios, porque en aquellas tenían sistemas de pastoreo más extensivos, que utilizaban pasturas de mayor tamaño, con menos divisiones.

La densidad total de árboles, incluyendo todos los árboles plantados como postes vivos, sin considerar el diámetro, fue altamente variable en las cercas, las fincas y los paisajes, con promedios que variaron desde 148,6 árboles km<sup>-1</sup>, en Rivas, a 414,6 árboles km<sup>-1</sup>, en Río Frío (Cuadro 5). Si se consideran solamente los árboles con dap >10 cm, el promedio de la densidad de árboles de los cuatro sitios fue de 137,5 (± 5,3) km<sup>-1</sup>, con un rango de 67,5 en Rivas a 241,8 en Cañas. El promedio general del dap de los árboles medidos en las cercas vivas fue de 23,6 cm; sin embargo, considerando que solo los árboles

con dap >10 cm fueron medidos, esto sobreestima la media para todos los árboles. La altura promedio de los árboles en las cercas vivas en cada sitio fue generalmente de entre 6 y 10 m, con los árboles más altos en el paisaje de Rivas, donde las cercas vivas se podaban poco frecuentemente. El promedio del radio de la copa de los árboles de las cercas vivas fue relativamente uniforme entre los sitios, con una media de rangos de 3,1 a 4,8 m, con las copas más grandes en cercas vivas más viejas o que habían sido podados menos frecuentemente.

### Distribución y ubicación de cinco cercas vivas dentro de las fincas y los paisajes

Dentro de las fincas, la mayoría de las cercas vivas se daban adyacentes a pasturas, con un subgrupo delimitando los bordes de la finca o lindando caminos. Por ejemplo, de las 410 cercas vivas mapeadas en Río Frío, más de la mitad estaban rodeadas por pasturas. De igual manera, en Cañas más del 70% de las cercas vivas dividían pasturas, y casi el 20% bordeaban caminos; muy pocas (poco más del 3%) bordeaban bosques riparios o parches boscosos. De las 1195 cercas vivas estudiadas, 72% eran cercas internas, las cuales se encontraban dentro de pasturas o potreros y no colindaban con otras fincas.

**Cuadro 5.** Características estructurales de cercas vivas individuales en los cuatro sitios de estudio.

Variable	Cañas, Costa Rica	Río Frío, Costa Rica	Rivas, Nicaragua	Matiguás, Nicaragua	Los cuatro sitios
Promedio del largo de cercas vivas individuales (m) <sup>z</sup>	217,0 ± 7,7	86,7 ± 3,6	500,3 ± 58,2	126,6 ± 4,4	164,3 ± 5,4
Densidad promedio de árboles con dap >10 cm por km de cerca viva <sup>z</sup>	241,9 ± 11,8	88,1 ± 7,5	67,5 ± 6,9	92,1 ± 5,8	137,5 ± 5,3
Densidad promedio de todos los árboles, incluyendo los de dap <10 cm (árboles/km de cercas vivas) <sup>z</sup>	360,7 ± 16,2	414,6 ± 16,8	148,6 ± 15,2	203,6 ± 8,8	323,1 ± 8,6
Densidad media de postes de cerca muerta por km de cerca viva <sup>z</sup>	335,7 ± 10,5	123,0 ± 9,3	369,9 ± 11,3	216,8 ± 9,8	231,8 ± 6,0
Altura promedio de árboles en cercas vivas (± s <sub>x</sub> ), en m	7,57 ± 0,07	6,77 ± 0,11	9,8 ± 0,17	7,02 ± 0,11	7,4 ± 0,05
Diámetro promedio de árboles con dap >10 cm en cercas vivas (± s <sub>x</sub> ), en cm	28,5 ± 0,3	16,09 ± 0,2	27,6 ± 0,7	19,1 ± 0,3	23,6 ± 0,2
Radio promedio del dosel de árboles en cercas vivas (± s <sub>x</sub> ), en m	4,23 ± 0,05	3,07 ± 0,04	4,83 ± 0,12	3,20 ± 0,06	3,79 ± 0,03

Datos resumidos por cerca viva (n = 385 en Cañas, 409 en Río Frío, 71 en Rivas y 330 en Matiguás). <sup>z</sup> Datos de árboles individuales dentro de las cercas vivas (n = 3331 árboles en Cañas, 1377 en Río Frío, 530 en Rivas y 1737 en Matiguás).

### Funciones y manejo de las cercas vivas dentro de los sistemas agrícolas

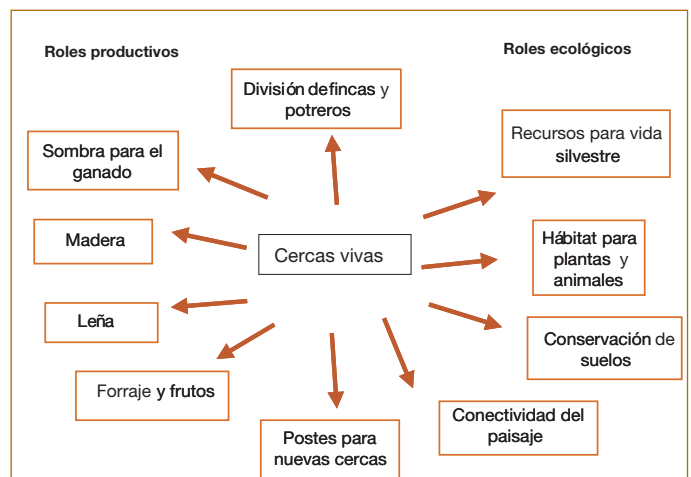
#### Roles de las cercas vivas en los sistemas agrícolas

Si bien las cercas vivas cumplen múltiples papeles dentro de los sistemas agrícolas y proveen tanto productos como servicios a los finqueros (Figura 1), la intención principal de su función fue la de delinear los límites de la finca y dividir las pasturas. Esta función fue alcanzada por medio de la provisión de un cercado que restringiera el movimiento de animales, y fue autosostenible en el sentido de que nuevas estacas fueron producidas a partir de las cercas vivas existentes. De acuerdo con los finqueros entrevistados, las cercas vivas consistieron en una manera económica de establecer cercas a lo largo de los límites de la finca y dividir las pasturas en potreros. Además, a menudo fueron más baratas que otras opciones de cercado, como el uso de cercado eléctrico o postes de madera muertos. Esto es corroborado por Romero *et al.* (1993), quienes encontraron que las cercas vivas de *Erythrina poeppigiana* eran un 54% más baratas que el establecimiento de cercas convencionales de postes de madera muerta en Guápiles, Costa Rica.

Además de servir como barreras, las cercas vivas proveen una amplia variedad de productos, incluyendo estacas vivas para las nuevas cercas, forraje, madera, leña y frutos, pero la importancia relativa de dichos productos varió entre los sitios estudiados. En todos los paisajes, la mayoría de los finqueros cosechaban las ramas de cercas vivas ya establecidas como material para el establecimiento de nuevas cercas vivas o para aumentar la densidad dentro de las cercas ya existentes. Usualmente, estas estacas fueron utilizadas dentro de la misma

finca o se dieron a vecinos, aunque ocasionalmente algunos finqueros venden estas estacas a otros finqueros de la región.

Otro producto potencialmente importante de las cercas vivas es el forraje para ganado, dado que muchas de las especies comunes de las cercas vivas, como *G. sepium* y *Erythrina* spp., proveen forraje de alto valor nutritivo y están disponibles durante la estación seca, cuando los pastos escasean (Beer 1987, Frank y Salas 2003). La adquisición de conocimiento local en los cuatro sitios ha indicado que si bien los finqueros estaban al tanto del potencial valor del follaje de las cercas vivas como forraje para el ganado, menos del 10% cortaba sus cercas con ese propósito (debido a su alta demanda de mano



**Figura 1.** Roles productivos y ecológicos de las cercas vivas en paisajes agrícolas.

de obra), aunque era práctica generalizada el dejar las ramas cortadas y el follaje en el suelo una vez podadas las cercas, para que el ganado se alimentara.

Otros posibles productos de las cercas vivas —principalmente madera, leña y frutos— raramente fueron cosechados. Por ejemplo, de los 102 finqueros entrevistados en Rivas, menos del 10% indicaron que cosechaban leña de sus cercas vivas (Gómez *et al.*, en prensa). La cosecha de madera de las cercas vivas fue esporádica en Nicaragua y rara en Costa Rica.

Además de proveer productos, las cercas vivas también pueden brindar servicios dentro de la finca, tales como la provisión de sombra y la protección contra el viento. Los finqueros de los cuatro sitios indicaron que la sombra provista por las cercas vivas era importante para el ganado, reduciendo el estrés por calor, particularmente durante la estación seca, y proveyendo un ambiente más confortable, resultando en aumentos de peso, producción de leche y tasas reproductivas más altas. Esta importancia de la sombra y la protección contra el viento para la producción del ganado ya ha sido reportada para otros sitios (Dronen 1988, Durr y Rangel 2002).

Los finqueros también consideraron la sombra como una posible desventaja, debido a que grandes cantidades de sombra podrían reducir la productividad de los pastos y, por lo tanto, la productividad general de la finca. Así, los finqueros se cuidaron de permitir que las cercas vivas crecieran demasiado, y las podaron regularmente para controlar el tamaño de la copa de los árboles. Mencionaron también la frecuente necesidad de podar o reparar las cercas, lo cual requiere considerable labor, y el hecho de que una vez que las cercas vivas son plantadas, resultan difíciles de remover y reubicar, dificultando cambiar el tamaño de los potreros o los sistemas de rotación. Asimismo, señalaron las desventajas de algunas especies de árboles en particular, tales como la tendencia de *G. sepium* a caerse debido al desarrollo de un sistema radicular superficial cuando se la propaga por medio de estacas y su susceptibilidad a las taltuzas (*Orthogeomys* spp.), y la dificultad de manejar *P. quinata* y algunas especies de *Erythrina* debido a sus espinas.

#### *Roles ecológicos de las cercas vivas en paisajes agrícolas*

Las cercas vivas pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad en paisajes agrícolas, tanto por medio del incremento de la cantidad de cobertura arbórea —y, por lo tanto, el aumento de la disponibilidad de hábitats y recursos—, como por la mejora de la conectividad de

los paisajes. Los árboles en las cercas vivas son a menudo componentes importantes de la cobertura arbórea de la finca y cubren entre el 3,2 y el 12% del área total de las pasturas en cada paisaje.

Por medio de la provisión de sitios donde posarse, alimentarse o anidar, las cercas vivas pueden servir como hábitats parciales para algunas especies animales dentro de los paisajes agrícolas. Estudios preliminares de la biodiversidad dentro de las cercas vivas de los sitios de Cañas y Rivas sugieren que un número considerable de especies animales puede utilizarlas, incluyendo aves, murciélagos, escarabajos estercoleros y mariposas, entre otros grupos. Hasta la fecha, se ha informado de más de 170 especies animales que utilizan las cercas vivas en cada uno de los sitios de Rivas y Cañas (Cuadro 6), pero el número total de especies podría ser mucho más alto, dado que estos estudios iniciales solo analizaron ocho fincas en cada paisaje durante un período corto de tiempo, y las curvas de acumulación para grupos individuales sugieren que un esfuerzo mayor de muestreo resultaría en la detección de más especies en ambos sitios. Por ejemplo, se encontraron 92 especies de aves utilizando las cercas vivas en Río Frío durante un período de observación más largo, de seis semanas, comparado con las 28 especies registradas por mediciones de punto de ocho cercas vivas en el mismo sitio (Sáenz, datos sin publicar).

**Cuadro 6.** Resumen del número de algunas especies animales encontradas en cercas vivas en Cañas, Costa Rica y Rivas, Nicaragua.

Taxón	Cañas, Costa Rica	Rivas, Nicaragua	Total <sup>2</sup>
Aves	47	34	59
Murciélagos	26	18	30
Escarabajos estercoleros	23	25	45
Mariposas	29	25	36
Total	125	102	170

Datos provenientes de ocho cercas vivas en cada paisaje.

<sup>2</sup>El número de especies no necesariamente suma el total debido a que algunas especies son las mismas en ambos paisajes.

La mayoría de las especies observadas en las cercas vivas fueron generalistas, capaces de sobrevivir en paisajes fragmentados y modificados, pero un grupo más pequeño de especies dependientes del bosque también hizo uso de las cercas. Por ejemplo, en el sitio de Río Frío, de las 92 especies de aves registradas en las cercas vivas, 33 fueron consideradas dependientes de hábitats boscosos, incluyendo tanto especies residentes como migratorias.

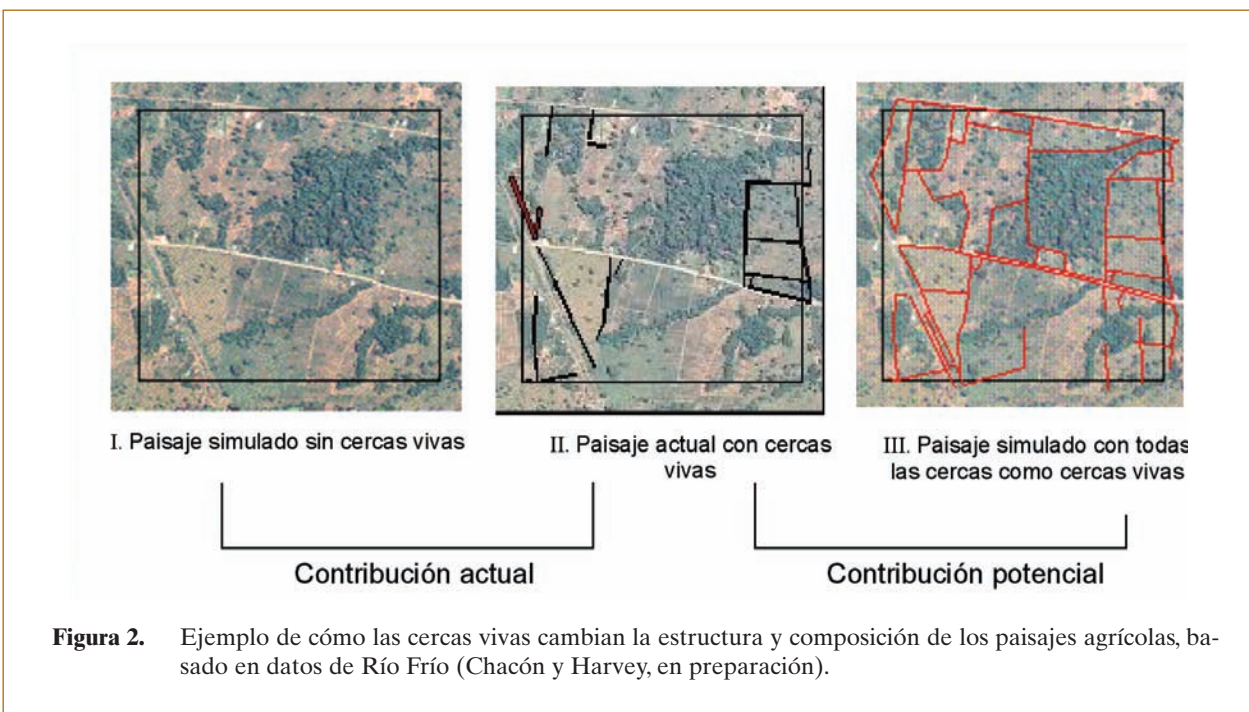
*Conectividad del paisaje y movimiento de animales*

Las cercas vivas tienen el potencial de aumentar la conectividad de los paisajes y facilitar el movimiento de animales por medio del incremento de la cantidad total de la cobertura vegetal dentro de los paisajes agrícolas (y, por lo tanto, aumentando el número de sitios de posa, descanso, alimentación y percha). Además, contribuyen al acortamiento de las distancias entre los sitios de posa o escala, reduciendo la energía que los animales deben gastar en vuelo o movimiento (Sibley 2001). Debido a que las cercas vivas dividen las pasturas en áreas más pequeñas, su presencia también reduce el área de hábitats “hostiles” que los animales deben cruzar para alcanzar la próxima porción de cobertura arbórea, y de esta manera pueden hacer más hospitalaria la matriz agrícola para algunas especies. Al mismo tiempo, el hecho de que la mayoría de las cercas vivas ocurra en redes extensas y rectilíneas que se expanden a través del paisaje, significa que las mismas invariablemente conectan diferentes áreas del mismo paisaje y proveen conexiones estructurales entre los hábitats arbóreos. Por ejemplo, de las 1195 cercas vivas estudiadas en los cuatro sitios, 17% estaban unidas directamente por un parche boscoso o un bosque ripario y proveían conexiones físicas entre estos hábitats.

Las contribuciones de las cercas vivas a la composición y estructura de los paisajes fueron exploradas en el sitio de Río Frío (Chacón 2004), donde dos escenarios hipotéticos de cercas vivas fueron comparados con la situa-

ción existente, siendo un escenario el paisaje sin cercas vivas, y el otro con todas las cercas en el paisaje convertidas en cercas vivas (Figura 2). El incremento en la proporción de las cercas que estaban vivas redujo dramáticamente el tamaño promedio de las áreas de pasturas abiertas, desde una media de 31,8 a 2,1 ha, y también redujo la distancia entre las copas de los árboles y los parches de bosque, de una media de 527 m en un paisaje sin cercas vivas a 71 m en un paisaje donde todas las cercas habían sido convertidas a cercas vivas. Además, convertir todas las cercas de madera muertas a cercas vivas incrementaría la longitud total de las segundas en un 21,2% y aumentaría su densidad de una media de 50,5 ( $\pm 15,1$ ) m ha<sup>-1</sup> de tierra a 111 ( $\pm 45,3$ ) m ha<sup>-1</sup>. Al mismo tiempo, el número de nodos (conexiones) de las cercas vivas y el número de cercas vivas directamente conectadas con el bosque ripario se duplicarían (Chacón y Harvey, en preparación). Si bien es claro que las cercas vivas contribuyen a la conectividad estructural de los paisajes agrícolas, aún queda por verse si esto resulta en un incremento de la conectividad biótica o funcional para organismos en particular, tal como se ha demostrado en el caso de setos vivos y barreras rompevientos en regiones templadas (Yahner 1982a, 1982b, 1983, Petit y Burel 1998, Baudry *et al.* 2000, Hinsley y Bellamy 2000).

Es posible que numerosos factores influyan en la importancia de las cercas vivas como herramientas de conservación en los paisajes agrícolas, incluyendo su composi-



ción de especies, manejo, abundancia y grado de conectividad. Sin embargo, existe poca información sobre la interacción de estos diversos factores para afectar tanto la diversidad como la composición de las comunidades animales que utilizan las cercas vivas.

### **¿Pueden las cercas vivas mejorar la conservación y la producción sostenible?**

Aunque las cercas vivas son típicamente ignoradas en la valoración de los usos del suelo y en los planes de conservación, los resultados reportados aquí muestran que representan un componente importante de la cobertura arbórea dentro de los paisajes rurales en Centroamérica. Como tales, pueden cumplir funciones importantes tanto para la producción sostenible como para la conservación de biodiversidad. Los finqueros establecen y manejan las cercas vivas para facilitar el manejo de la finca y el ganado, y para obtener productos y servicios específicos; sin embargo, al hacer esto, también incrementan la cobertura total de árboles dentro del paisaje e inadvertidamente crean hábitats, puntos de escala y recursos para la vida silvestre. Aún más importante, las cercas vivas generalmente forman complejas redes a través de paisajes que de otra forma se encontrarían deforestados o fragmentados, mejorando la heterogeneidad del paisaje e incrementando la conectividad del hábitat de bosque, con beneficios potenciales para la conservación. Dado que las cercas vivas son elementos duraderos, una vez establecidos es probable que mejoren la estructura, composición y funcionalidad de los paisajes rurales por al menos varias décadas.

Las cercas vivas ya parecen estar desempeñando un papel importante en la conservación dentro de los paisajes rurales de América Central. Sin embargo, existen oportunidades para que se integren más activamente aún a las estrategias de conservación y producción sostenible. Dichas estrategias incluyen aumentar la abundancia de cercas vivas dentro de los paisajes, incrementar su diversidad florística y estructural, ubicar estratégicamente las cercas vivas para maximizar su contribución a la conectividad del paisaje o minimizar la frecuencia e intensidad de las podas. Estas recomendaciones reflejan aquellas sugeridas para mejorar el valor de la biodiversidad de las barreras rompevientos en los Estados Unidos (Capel 1988) y de los setos vivos en Europa (Baudry 1988, Hinsley y Bellamy 2000).

La adopción de estrategias de manejo de las cercas vivas más amigables con la conservación requerirá de una combinación de entrenamiento y educación de los fin-

queros acerca de la importancia de las mismas (y las formas en las cuales su diseño y manejo influyen en su valor de conservación). Además, requerirá del uso de pagos o incentivos que compensen por cualquier tiempo o recursos adicionales que la adopción de estas estrategias ocasione, o que premie a los finqueros por sus esfuerzos de conservación. Es importante considerar que, aunque los finqueros ya están estableciendo y manejando cercas vivas por cuenta propia, lo hacen por motivos de producción y no con objetivos de conservación. Muchos de los cambios arriba propuestos pueden complicar las prácticas de manejo de la finca, requerir trabajo o dinero adicionales u ocupar áreas de pasturas que de otra manera estarían disponibles para el ganado. Así, cualquier cambio propuesto en el diseño o manejo de las cercas vivas debe ser considerado dentro del esquema del sistema de la finca (Le Coeur *et al.* 2002). Además, el uso de incentivos o pagos puede ser necesario para motivar a los finqueros a manejar las cercas vivas en busca de objetivos de conservación. Dado que el valor de conservación de las cercas está también fuertemente influenciado por su composición de especies de árboles y la frecuencia y severidad de la poda, involucrar a los finqueros en manejos participatorios de las cercas en estos paisajes, posiblemente incluyendo incentivos para la adopción de prácticas de conservación amigables, será crítico para maximizar su contribución a la conservación de biodiversidad.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a un gran número de personas que ayudaron a caracterizar las cercas vivas (Vertino Jiménez, Daniel Vargas y Rachel Purdy en Cañas; Ernesto Guzmán y Silvia Guzmán en Rivas y Julio Evenor Tijerino en Matiguás). También agradecemos a Marianna Joya por su ayuda en la recopilación de conocimiento local en Rivas; a Claudia Restrepo y Giovanni Cárdenas por su ayuda con las entrevistas socioeconómicas en Cañas; a Patricia Hernández por su ayuda en la preparación de documentos; a Fernando Casanoves por el análisis de los datos y a Analia Pugener por la traducción de este artículo.

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa

la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen. Financiamiento adicional para R. Taylor y C.A. Harvey fue provisto por la Neotropical Migratory Bird Conservation Act, y para M. Cachón, J. Villacis y C. A. Harvey por FINNIDA.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Baudry, J. 1988. Hedgerows and hedgerow networks as wildlife habitat in agricultural landscapes. In Park, JR. ed. Environmental management in agriculture: European perspectives. London, UK, Belhaven. p. 111-123.
- \_\_\_\_\_; Bunce, GH; Burel, F. 2000. Hedgerows: an international perspective on their origin, function and management. Journal of Environmental Management 60: 7-22.
- Beer, J. 1987. Experiences with fence line fodder trees in Costa Rica and Nicaragua. In Beer J; Fassbender HW; Hueveldop, J. eds. Advances in agroforestry research. Turrialba, CR, CATIE. p. 215-222. (Serie Técnica no. 147).
- Berninger, F; Salas, E. 2003. Biomass dynamics of *Erythrina lanceolata* as influenced by shoot-pruning intensity in Costa Rica. Agroforestry Systems 57: 19-29.
- Budowski, G. 1987. Living fences in tropical America, a widespread agroforestry practice. In Agroforestry: realities, possibilities and potentials. Gholz HL (ed). Martinus Nijhoff Publishers. p. 169-178.
- Capel, SW. 1988. Design of windbreaks for wildlife in the Great Plains of North America, Agriculture, Ecosystems and Environment, 22/23: 337-347.
- Chacón, M; Harvey, CA. s.f. Contribution of live fences to landscape composition and structure in an agricultural landscape in Costa Rica.
- \_\_\_\_\_. 2004. Cobertura arbórea y cercas vivas en un paisaje fragmentado, Río Frío, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 107 p.
- Dronan, S. 1988. Layout and design criteria for livestock windbreaks. Agriculture, Ecosystems and Environment 22/23: 231-240.
- Durr, PA; Rangel, J. 2002. Enhanced forage production under *Samanea saman* in a subhumid tropical grassland. Agroforestry Systems 54: 99-102.
- Estrada, A.; Coates-Estrada, R; Meritt Jr, D; Montiel, S; Curiel, D. 1993. Patterns of frugivore species richness and abundance in forest islands and in agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. Vegetatio 107/108: 245-257.
- \_\_\_\_\_; Cammarano, PL; 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.
- \_\_\_\_\_; 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.
- Gómez, R; López, M; Harvey, CA; Villanueva C. Caracterización de las fincas ganaderas y relaciones con la cobertura arbórea en potreros en el municipio de Belén, Rivas, Nicaragua. Revista Encuentros, UCA, Nicaragua. En prensa.
- Harvey, CA; Medina, A; Sanchez, D; Vilchez, S; Hernández, B; Maes, JM; Saenz, J; Sinclair, FL. Abundance and species richness of trees, birds, bats, butterflies and dung beetles in a fragmented landscape in Rivas, Nicaragua. En preparación.
- Hinsley, SA; Bellamy, PE. 2000. The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: a review. Journal of Environmental Management 60: 33-49.
- Joya Díaz, MA. 2004. Conocimiento local sobre el uso y manejo de árboles en fincas ganaderas del municipio de Belén, Rivas. Tesis Lic., Managua, NI, Universidad Centroamericana. 76 p.
- Lagemann, J; Heuvelop, J. 1983. Characterization and evaluation of agroforestry systems: the case of Acosta-Puriscal, Costa Rica. Agroforestry Systems 1: 101-115.
- Le Coeur, D; Baudry, J; Burel, F; Thenail, C. 2002. Why and how we should study field boundary biodiversity in an agrarian landscape context. Agriculture, Ecosystems and Environment 89: 23-40.
- López, M; Gómez, R; Harvey, CA; Villanueva, C. Caracterización del componente arbórea en los sistemas ganaderos de Rivas, Nicaragua. Revista Encuentros (Nicaragua). En prensa.
- Lozano, OR. 1962. Postes vivos para cercos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE/IICA. 77 p.
- Martínez Rayo, JL. 2003. Conocimiento local de productores ganaderos sobre cobertura arbórea en la parte baja de la cuenca del Río Bulbul en Maniguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 159 p.
- Muñoz, D. 2004. Conocimiento local en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 208 p.
- Petit, S; Burel, F. 1998. Connectivity in fragmented populations: *Abax parallelepipedus* in a hedgerow network landscape. Compte rendu Academie des Sciences, Paris, Sciences de la Vie 321: 55-61.
- Restrepo, C. 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Romero, F; Abarca, S; Orado, L; Tobon, J; Kass, M; Pezo, D. 1993. Producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Costa Rica. In Westley, S; Powell, M. ed. *Erythrina* in the new and old Worlds. Paia, Hawaii, US, NFTA. p. 223-239.
- Sauer, JD. 1979. Living fences in Costa Rican agriculture. Turrialba 29(4): 225-261.
- Sibley, D. 2001. The Sibley Guide to Bird Life and Behaviour, 1 ed. In Elphick, C; Dunning Jr, JB; Sibley, DA; Knopf, AA. ed. New Cork, US, Chanticleer Press. 544 p.
- Somarriba, E. 1995. Guayaba en los potreros: establecimiento de cercas vivas y recuperación de pasturas degradadas. Agroforestería de las Américas 6: 27-29.
- Villacis, J. 2003. Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Río Frío, Costa Rica. M.Sc. Thesis, CATIE. 129 pp.
- Yahner, RH. 1982a. Avian use of vertical strata and planting in farmstead shelterbelts. Journal of Wildlife Management 46(1): 50-60.
- \_\_\_\_\_. 1982b. Avian nest densities and nest site selection in farmstead shelterbelts. Wilson Bulletin 94: 156-175.
- \_\_\_\_\_. 1983. Small mammals in farmstead shelterbelts: habitat correlates of seasonal abundance and community structure. Journal of Wildlife Management 47(1): 74-83.

## Avances de investigación

# Caracterización de sistemas de manejo nutricional en ganaderías de doble propósito de la región Pacífico Central de Costa Rica<sup>1</sup>

Vilma A. Holguín<sup>2</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>3</sup>; Jairo Mora<sup>3</sup>; Augusto Rojas<sup>4</sup>

**Palabras claves:** ganadería eco-amigable; pasturas; alimento suplementario; recursos endógenos; bancos forrajeros.

### RESUMEN

En el trópico semihúmedo y seco de Costa Rica, la ganadería enfrenta limitaciones debido a la disminución de forrajes en la época seca y a un manejo inadecuado de la alimentación. Este artículo documenta las prácticas alimentarias utilizadas en sistemas de ganadería de doble propósito en la región Pacífico Central de Costa Rica y sus relaciones con los indicadores de productividad. Se seleccionaron 33 fincas para el análisis de las prácticas de alimentación y manejo de pasturas. Hay una tendencia de cambio de sistemas de pastoreo extensivo hacia la intensificación de los sistemas de alimentación, basados en fuentes suplementarias, principalmente en la estación seca. Por otra parte, algunos ganaderos están iniciando el cambio de fuentes exógenas de alimento por forrajes producidos en la finca, incluyendo los sistemas silvopastoriles como opción forrajera. El 74% de los productores entrevistados están anuentes a plantar especies de árboles forrajeros. Mediante análisis de conglomerados se identificaron dos grupos de fincas en función de los recursos alimentarios: 1) Sistemas Eco-amigables (SEA), que han incorporado recursos endógenos en sus sistemas de alimentación y sistemas silvopastoriles; y 2) Sistemas Convencionales, donde pueden distinguirse dos subgrupos: Sistemas Intensivos Convencionales (SIC) y Sistemas Extensivos Tradicionales (SET). Este artículo trata de las características de manejo de la alimentación en cada uno de los grupos, cuya información podrá ser de utilidad para la toma de decisiones en estrategias de desarrollo tecnológico.

**Characteristics of the feeding systems in livestock farms of the Central Pacific area of Costa Rica**

**Key words:** Eco-friendly livestock production; endogenous resources; pastures; supplemental feed.

### ABSTRACT

In both semi-humid and dry areas of Costa Rica, livestock production is limited because forage sources are diminished in the dry season and feeding systems are inadequate. This article documents the feeding practices utilized in livestock farms in the Central Pacific area of Costa Rica and their relationship with livestock productivity indicators. Thirty-three farms were selected for the analysis of the feeding practices, livestock productivity indicators and pasture management. There is a trend towards changing feeding systems from extensive grazing to intensified feeding systems, based on the increased adoption of feeding practices with supplemental feeds, mainly in the dry season. On the other hand, some livestock farmers are beginning to change from using exogenous feeding sources to endogenous sources, including silvopastoral systems. Seventy-four percent of farmers interviewed were interested in incorporating tree species for forage. Two groups of farms were identified using cluster analysis: 1) Eco-friendly Systems, which have incorporated endogenous resources in to their feeding systems and silvopastoral systems, and 2) Conventional Systems, which can be subdivided into two subgroups: Conventional Intensive Systems and Conventional Extensive Systems. This article presents the characteristics of feeding systems in those groups, and could be useful for decision-making on technological development strategies.

## INTRODUCCIÓN

Las principales actividades agrícolas de la región Pacífico Central de Costa Rica (3800 km<sup>2</sup>) son la ganadería de carne y leche, además del arroz, los frutales y la caña de azúcar (Holmann y Estrada 1997). El análisis del Censo

Ganadero del 2000 identificó 2729 fincas (MAG 2000), con un promedio de 50 ha y 36 unidades animales por finca. Esta región cuenta con la población ganadera más baja del país y con un número reducido de fincas, que

<sup>1</sup> Basado en Holguín, VA. 2004. Análisis comparativo y evaluación financiera de modelos de manejo nutricional en fincas de ganado de doble propósito en la zona del Pacífico Central de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica (en preparación).

<sup>2</sup> Candidata a Mag. Sc. en Nutrición Animal, UCR, Costa Rica. 2004. Correo electrónico: vholguin@cariari.ucr.ac.cr (autor para correspondencia).

<sup>3</sup> Profesores investigadores, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: mibrahim@catie.ac.cr ; jmora@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Profesor investigador, Escuela de Zootecnia, UCR, San Pedro de Montes de Oca. Correo electrónico: augustor@cariari.ucr.ac.cr

tienden a ser de mayor extensión que en el resto de Costa Rica (CORFOGA 2004). En estos sistemas, generalmente el manejo de la alimentación está basado en pasturas naturales de baja calidad y poco rendimiento, y la producción ganadera es limitada por la escasez de forraje en la época seca, el manejo inapropiado de la alimentación y la escasez de pasturas. Algunos productos complementan la alimentación con insumos producidos en la finca o comprados en el mercado para superar la escasez de pasto durante esa época. Una amplia variedad de suplementos proteicos y energéticos producidos en bancos de leguminosas forrajeras y caña de azúcar son producidos en finca y, entre los suplementos adquiridos en el mercado, los más utilizados son la gallinaza, la melaza, el concentrado y las sales mineralizadas.

Las deficiencias nutricionales en la época seca causan pérdida de peso de los animales, disminución de la producción de leche, problemas reproductivos y, en muchas ocasiones, la muerte (Cerdas 1977). El manejo adecuado de la alimentación puede constituir una solución a los problemas de baja productividad de la ganadería en la época seca y evitar los impactos negativos sobre el ambiente.

El estudio detallado de las prácticas agrícolas y de los itinerarios seguidos para la implementación o cambio de una práctica constituyen elementos fundamentales en el análisis de tipologías de los sistemas de producción (Capillon y Sebillote 1982, Capillon y Caneill 1987). El análisis de las prácticas alimentarias en la finca constituye una base para entender el funcionamiento de los sistemas y así establecer dominios de recomendación. En este artículo, se documentaron las prácticas alimentarias utilizadas por los ganaderos de la región Pacífico Central de Costa Rica y su relación con la productividad de las fincas.



Los bancos forrajeros de *Cratilya argentea* y *Saccharum officinarum* son recursos endógenos de mucha utilidad para la alimentación durante la época seca (Vilma Holgín).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio abarca fincas ganaderas localizadas en las cuencas Aranjuez, Guacimal, Naranjo, Barranca, Sardinal, Jesús María y Río Seco de la región Pacífico Central de Costa Rica. Las zonas de vida presentes en el área son Bosque Húmedo Tropical y Bosque Seco Tropical (Holdridge 1978). La zona de estudio posee pisos altitudinales que van desde los 50 hasta los 1000 msnm, temperatura media anual de 27 °C y una precipitación que varía entre 1500 y 2000 mm año<sup>-1</sup>, con una humedad relativa de 65-80% (IMN 2001).

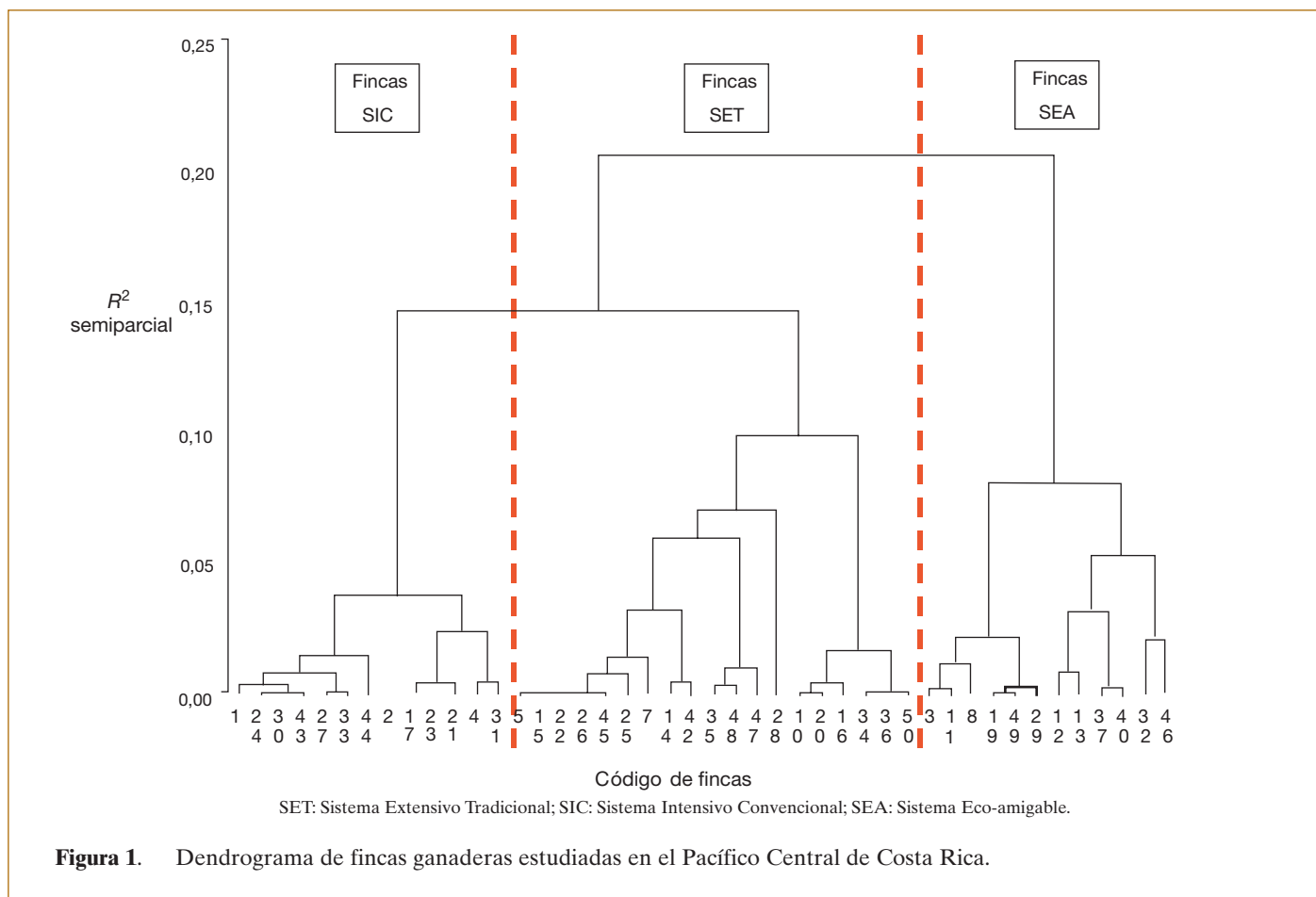
El área posee una amplia gama de suelos, correspondientes a los órdenes alfisol, entisol, inceptisol y ultisol, con regímenes ústicos. La topografía varía entre plana y quebrada, con una red hidrológica bastante ramificada de corrientes tributarias de las cuencas Barranca, Jesús María y Abangares (ITCR 2000). Con base en los datos brutos del Censo Ganadero (MAG 2000), se estimó que alrededor del 46% de la superficie total de los cantones de Miramar, Puntarenas y Esparza está en pasturas.

La información sobre los aspectos tecnológicos, productivos y socioeconómicos de las fincas fue compilada mediante un cuestionario estructurado, entrevistas en profundidad (Marshall y Rossman 1995) y observación participante (Atkinson y Hammersley 1994). La muestra de fincas fue seleccionada siguiendo las recomendaciones de Glaser y Strauss (1967) para muestreo razonado, siendo tres los criterios de selección de las fincas: que el área de la propiedad estuviera entre 10 y 90 ha, que la familia derivara sus ingresos de la actividad ganadera, y que los finqueros estuvieran dispuestos a suministrar información. Se construyó una base de datos para el proyecto "Enfoques Integrados Silvopastoriles para el Manejo de Ecosistemas" (CATIE-GEF), de la cual se seleccionaron 33 fincas, agrupadas mediante un análisis de conglomerados, en función de 16 variables del sistema alimentario. Se construyó una matriz de similitudes para determinar las distancias de Jaccard y así agrupar las fincas. Los parámetros productivos (Cuadro 1) que no fueron incluidos en el análisis de conglomerados fueron comparados mediante un análisis de varianza y una prueba de Duncan.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de conglomerados agrupó las fincas en dos grandes grupos: un grupo fue denominado *Sistemas Eco-amigables* (SEA;  $n = 6$ ), caracterizado por incorporar recursos endógenos en su sistema de alimentación y en algunos casos sistemas silvopastoriles. En el otro gru-





po, denominado *Sistemas Convencionales*, pueden distinguirse dos subgrupos: *Sistemas Intensivos Convencionales* (SIC;  $n = 13$ ) y *Sistemas Extensivos Tradicionales* (SET;  $n = 14$ ) (Figura 1). Las fincas del grupo SIC basan su sistema alimentario en pasturas con un alto uso de insumos exógenos (v. gr. gallinaza, melaza, concentrados, etc.) y manejan un mayor capital fijo. El grupo SET se caracterizó por basar su alimentación en el pastoreo extensivo y usar pocos insumos exógenos.

Aunque los promedios de cada grupo sugieren diferencias considerables, no se encontraron diferencias estadísticas entre los parámetros productivos estimados para cada grupo ( $P < 0,05$ ), posiblemente debido a la alta dispersión de los datos (Cuadro 1). El 39% de la muestra consistió de fincas SIC ( $n = 13$ ), las cuales presentaron un área de entre 10 y 80 ha; en el 42% de la muestra, fincas SET ( $n = 14$ ), se estimó una superficie de entre 9 y 90 ha. Solo el 18% de la muestra fueron fincas SEA ( $n = 6$ ), con un área de entre 13 y 92 ha. No se encontraron diferencias en el tamaño promedio de finca de los tres grupos evaluados (Cuadro 1).

El hato de los tres grupos de finca estaba conformado principalmente por hembras adultas (vacas en ordeño o vacas secas), cuya suma constituye la mayor proporción del hato en los tres grupos (57,9%; 65,2%; 50,2%, para SET, SIC y SEA, respectivamente). Sin embargo, es notorio que en SET hay una mayor proporción de vacas secas con respecto a SIC y SEA (37%, 28% y 18,5%, respectivamente). Es posible que esto resulte de problemas reproductivos en el hato, como lo sugiere la baja tasa de natalidad de las fincas SET (Cuadro 1). Desde el punto de vista productivo, estas fincas reflejan una situación indeseable, puesto que para el ganadero no es conveniente tener muchas vacas que representan costos de mantenimiento y menor producción.

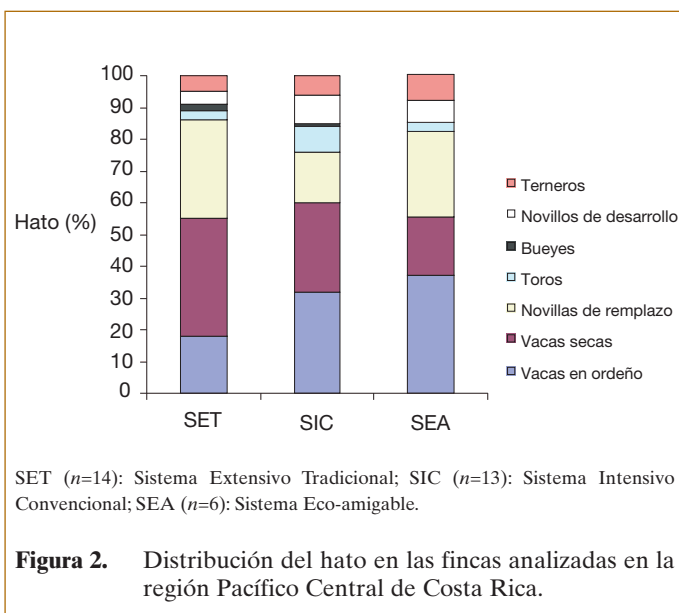
En el grupo SIC, las proporciones entre vacas en producción y vacas secas son casi iguales (31,6% y 27,9%, respectivamente), mientras en el grupo SEA la proporción de vacas en producción (33,5%) duplica la de vacas secas (16,7%), siendo estas las fincas que más se aproximan a una distribución ideal del hato (Figura 2). Se entiende como distribución ideal del hato aquella en la

**Cuadro 1.** Características de las fincas ganaderas analizadas en la región Pacífico Central de Costa Rica.

Parámetro	SET n = 14	SIC n = 13	SEA n = 6
Área promedio de fincas (ha)	38±25,4 a	35±23,22 a	39±30,16 a
Área promedio de pasturas (ha)	22,3±20,9 a	22±18,87 a	14±7,61 a
Pasturas mejoradas (%)	30,50±37,20 a	50,48±27,57	59,4±32,84 a
Promedio de UA* /finca	27,70±21,40 a	27,3±19,11 a	18,9±15,35 a
Promedio de carga UA /ha	1,36±0,48 a	1,7±1,61 a	0,96±0,41 a
Promedio de hembras adultas descarte/año	13,72±14,66 a	60,7±37,42 a	24,3±27,18 a
Promedio de vacas en ordeño	5,58±7,12 a	9,25±14,94 a	6,7±4,32 a
Promedio de terneros (as)/año	8,85±12,78 a	10,82±19,19 a	8,8±7,76 a
Promedio de tasa de natalidad	52,32±27,19 a	43,4±30,46 a	78,9±22,96 b
Producción de leche comercializable			
Kg vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> época lluviosa	2,7±2,47 a	4,31±2,81 ab	5,87±1,49 b
Kg vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> época seca	2,1±2,19 a	4,1±2,79 ab	5,38±1,76 b

SET: Sistema Extensivo Tradicional; SIC: Sistema Intensivo Convencional; SEA: Sistema Eco-amigable; \* UA: unidades animal adulto de 450 kg peso vivo. Letras distintas indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ).

cual el 50% del rebaño se compone de vacas adultas, de las cuales las vacas en producción constituyen dos terceras partes y las secas el resto. Las mejores condiciones alimenticias y de manejo en estos dos grupos podrían estar influenciando el elevado porcentaje de vacas en producción.


**Figura 2.** Distribución del hato en las fincas analizadas en la región Pacífico Central de Costa Rica.

## Manejo de la alimentación

### Dieta básica

Se encontró una amplia variación en las dietas suministradas en cada uno de los grupos. La alimentación en los tres grupos de fincas está basada en pasturas mejoradas (principalmente *Brachiaria brizantha* y *Brachiaria decumbens*) y pasturas naturales. Las pastu-

ras naturales están presentes en todas las fincas, siendo jaragua (*Hyparrhenia rufa*) y jengibrillo (*Paspalum notatum* Fuegge) las especies más reportadas. La mayor proporción del área en pasturas mejoradas fue reportada en las fincas del grupo SEA, seguida del grupo SIC, mientras que en el grupo SET se encontró la menor proporción (59%; 50%; 31%, respectivamente) (Cuadro 1). Tales resultados sugieren que, en general, la ganadería de esta zona de Costa Rica basa su sistema alimentario en las pasturas, por constituir estas la fuente más económica y de fácil consecución para los rumiantes (Argel *et al.* 2000). Sin embargo, hay una tendencia a la sustitución de pasturas naturales por mejoradas, principalmente cuando las primeras se encuentran en un estado considerable de degradación.

### Dieta suplementaria

Además de la dieta básica, todos los ganaderos entrevistados reportaron el suministro de al menos una fuente suplementaria, principalmente en la época seca. Estas pueden clasificarse en suplementos introducidos al sistema o exógenos (sal común, sales minerales, pollinaza, concentrado, melaza, semolina, soya) y suplementos producidos en la finca o endógenos (caña de azúcar, cratilia y residuos de cosecha).

En el grupo SIC, la dieta básica se suplementó con fuentes proteicas, como concentrados de origen industrial (62% de las fincas), gallinaza (14%), semolina (7%) y fuentes de energía como melaza (64%) y caña de azúcar (14%). Lo relevante en el grupo SEA es que estos productores han adoptado la suplementación energética con bancos de caña de azúcar casi en un 100% de las fin-

cas, usando un promedio de 5 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. El área dedicada al banco energético es de alrededor de 0,63 ha por finca. En dos fincas se usaron bancos forrajeros proteicos de *Cratylia argentea*, y es evidente la tendencia en las fincas de este grupo hacia la sustitución de insumos importados por recursos locales, especialmente para la suplementación en la época seca.

En el Cuadro 2 se observa la proporción de productores, por grupo, que suministran los diferentes alimentos básicos y suplementarios. Los suplementos generalmente son ofrecidos al animal entre los meses de enero y mayo, como una estrategia para proveer los requerimientos nutricionales del animal en una época en la que escasean los recursos forrajeros.

**Cuadro 2.** Fuentes alimenticias suministradas en las fincas analizadas en la región Pacífico Central de Costa Rica.

Suministro	% de adopción		
	SET	SIC	SEA
Pastos naturales	86 *	100 *	83 *
Pastos mejorados	100 *	100 *	100 *
Concentrados	0	62 *	0
Bancos de energía	7	15	100 *
Bancos de proteína	0	8	17
Pollinaza	36	0	50
Residuos de cosecha	0	8	17
Melaza	14	100 *	83 *
Sal mineralizada	100 *	85 *	83 *
Sal común	100 *	100 *	100 *
Soya	14	8	0

SET: Sistema Extensivo Tradicional; SIC: Sistema Intensivo Convencional; SEA: Sistema Eco-amigable; \* Componentes de la dieta típica.

La dieta típica es aquella recurrente en más del 60% de los productores. La dieta típica de los tres grupos está basada en pastos y sales; sin embargo, en el grupo SEA, los suplementos endógenos también forman parte de la dieta típica, principalmente los energéticos, mientras que en el grupo SIC las fuentes exógenas son las más importantes (Cuadro 2).

El 57,1% de las fincas SET incluye otras fuentes nutricionales además de la dieta típica, siendo la más frecuente la gallinaza suministrada (36%). En el grupo SIC, el 62% utiliza alimentos concentrados de origen industrial y el 100% usa melaza. El uso de estas fuentes introducidas en el sistema torna las fincas de este grupo más dependientes de flujos de capital en comparación con los otros dos grupos. En el grupo SEA, el 100% su-

ministra caña y 50% y 83% utilizan gallinaza y melaza como fuentes de nitrógeno no proteico y de energía, respectivamente. Sin embargo, los productores tienen interés en sustituir los insumos adquiridos en el mercado por suplementos producidos en la finca, posiblemente como una estrategia de disminución de la dependencia de insumos externos. Esto concuerda con la anuencia a plantar árboles forrajeros expresada por el 74% de los productores encuestados. Es posible que el conocimiento de los productores sobre los atributos y usos de especies leñosas adquirido por diferentes medios les facilite el establecimiento de bancos forrajeros y otros sistemas silvopastoriles con miras a la producción de suplementos alimenticios.

### Manejo de las pasturas

Las prácticas de manejo de los pastos consisten en el control anual de malezas —mediante el uso de chapeas manuales o herbicidas— y la fertilización con abono químico. El control manual de malezas es una práctica generalizada en los tres grupos de fincas, principalmente en SIC y SEA (100%) y, en menor proporción, el grupo SET (83%). La aplicación de herbicidas es una práctica complementaria a la chapea, principalmente en fincas de mayor extensión o cuando la mano de obra es escasa. El 78,6% de las fincas SET aplica herbicidas, seguido de SEA y SIC (con 66,6% y 53,8%, respectivamente). El control de malezas se considera fundamental en las fincas ganaderas para evitar la competencia por nutrientes, agua y luz, y mantener una buena cantidad y calidad de forraje para el ganado (Mojhanna 1993).

Por el contrario, el uso de fertilizantes es una práctica que presentó una baja adopción en las fincas SET (7%), mientras que en las fincas SEA y SIC se informó una mayor proporción de adoptantes (33% y 23%). Es evidente que tal práctica no es de uso generalizado, principalmente por la erogación de costos monetarios que implica.

La división y rotación de potreros es deficiente, principalmente en el grupo de fincas SET, donde se reportaron entre tres y cuatro potreros por finca, mientras que en las fincas SIC y SEA se reportaron hasta siete potreros por finca. Los ciclos de pastoreo de los potreros presentan una gran variación, con períodos de ocupación promedio de 7±5,9 (SET), 8±13,2 (SIC) y 6±3,7 (SEA) días, predominando los períodos largos de ocupación, principalmente en SET y SIC, que posiblemente estén incidiendo en la degradación de las pasturas.

**Cuadro 3.** Especies arbóreas reportadas en las fincas ganaderas en el Pacífico Central de Costa Rica.

Nombre común	Nombre científico	Presencia de la especie (número de fincas)			
		SET	SIC	SEA	Total
Aguacate*	<i>Persea americana</i>	1	2	1	4
Almendro*	<i>Andira inermis</i>	2	1	1	4
Caimito*	<i>Chrysophyllum cainito</i>	1	0	0	1
Canelo	<i>Ocotea</i> sp.	0	1	0	1
Caoba	<i>Swietenia</i> sp.	2	3	0	5
Casía	<i>Cassia fistula</i>	0	1	0	1
Casuarina	<i>Casuarina</i> sp.	0	1	1	2
Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	5	8	3	16
Cenízaro	<i>Samanea saman</i>	3	3	3	9
Chaperno	<i>Lonchocarpus</i> sp.	0	0	1	1
Corteza	<i>Tabebuia</i> sp.	0	0	1	1
Coyol*	<i>Acrocomia aculeata</i>	0	1	0	1
Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>	2	3	1	6
Gallinazo	<i>Dipterodendron costaricensis</i>	1	0	1	2
Gavilancillo	<i>Alfaroa costaricensis</i>	0	0	1	1
Guachipelín	<i>Diphysa americana</i>	3	10	2	15
Guácimo*	<i>Guazuma ulmifolia</i>	5	7	5	17
Guanacaste*	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	5	7	1	13
Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	1	1	1	3
Guayaba*	<i>Psidium guajava</i>	0	2	3	5
Guayacán	<i>Tabebuia guayacan</i>	1	0	0	1
Guayaquil	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	2	3	5	10
Higuerón	<i>Ficus bullenei</i>	0	1	1	2
Indio desnudo*	<i>Bursera simaruba</i>	3	8	1	12
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	8	11	4	23
Limón	<i>Citrus</i> sp.	0	0	2	2
Madero Negro*	<i>Gliricidia sepium</i>	5	7	3	15
Madroño	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	0	0	1	1
Mamón*	<i>Melicoccus bijugatus</i>	1	0	0	1
Mango*	<i>Mango indica</i>	3	3	3	9
Manzana de agua	<i>Eugenia jambos</i>	1	0	0	1
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	2	1	0	3
Nance	<i>Clethra</i> sp.	2	2	1	5
Naranja*	<i>Citrus deliciosa</i>	0	1	3	4
Níspero	<i>Achras zapota</i>	0	0	1	1
Ojoche	<i>Brosimum costaricanum</i>	0	1	1	2
Pochote	<i>Bombacopsis quinatum</i>	5	12	3	20
Poró*	<i>Erythrina poeppigiana</i>	1	1	1	3
Quizarrá Amarillo	<i>Nectandra</i> sp.	0	0	1	1
Roble	<i>Quercus costaricensis</i>	4	9	1	14
Ron ron	<i>Astronium graveolens</i>	0	0	1	1
Teca	<i>Tectona grandis</i>	3	1	3	7
Tubú	<i>Montanoa</i> sp.	0	0	2	2

SET: Sistema Extensivo Tradicional; SIC: Sistema Intensivo Convencional; SEA: Sistema Eco-amigable.

\* Especies con potencial forrajero.

### Componente forestal de las fincas

El componente forestal es muy importante en estos sistemas. Los múltiples usos que se le dan son las razones principales para que el ganadero decida mantenerlo o incrementarlo; generalmente, los árboles se encuentran distribuidos en cercas vivas, árboles dispersos en potreros, regeneración natural, bancos forrajeros y plantaciones forestales.

Algunas especies de uso múltiple reportadas por los productores tienen potencial como fuente de alimentación para el ganado: aguacate, caimito, coyol, guayaba, guácimo, cítricos, guanacaste, madero negro, mango y poró (Cuadro 3). El conocimiento acerca del uso de estas especies no es generalizado entre los productores; sin embargo, se trata de un recurso que puede ser incorporado a los sistemas de alimentación animal, ya que los ganade-



Novilla brahmán alimentándose con una mezcla de *Cratilya argentea* y caña de azúcar en un sistema eco-amigable en Esparza, Costa Rica (Jairo Mora).

ros generalmente usan frutos y follaje de especies leñosas para la alimentación animal en la época seca (Morrison *et al.* 1996, Alonzo 2000).

Las cercas vivas son otro sistema agroforestal importante en las fincas ganaderas. El área posee una extensión considerable de cercas vivas que desempeñan funciones de delimitación: división de potreros, linderos y límites de caminos y carreteras. La extensión de cercas vivas fue similar en los tres grupos de fincas (38, 35 y 39 m ha<sup>-1</sup>, para SET, SIC y SEA, respectivamente). Las principales especies utilizadas en cercas vivas son *Bursera simaruba*, *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium* y *Guazuma ulmifolia*. Estas cercas no solo cumplen la función de separación de áreas, sino que son importantes como perchas y corredores biológicos para aves, permitiendo la conectividad entre fragmentos de bosques (Harvey 2001).

## CONCLUSIONES

Las fincas con sistemas extensivos tradicionales con presencia de pasturas degradadas, causadas por altas presiones de pastoreo, son características de la ganadería de la zona. Los sistemas intensivos convencionales demandan mayor capital para la adquisición de los insumos introducidos al sistema (melaza, concentrado, herbicidas, etc.). Los sistemas eco-amigables hacen un uso eficiente de los recursos, manifestado en la tendencia a la sustitución de insumos exógenos por insumos producidos en finca. La reconversión de la ganadería debe orientarse hacia la transformación de los sistemas extensivos tradicionales a sistemas eco-amigables, ya que aunque los primeros presentan indicadores de mejor productividad, su mayor dependencia de insumos externos podrían tornarlos más vulnerables. El conocimiento de las características de las tipologías de los sistemas ali-

mentarios en fincas ganaderas es de utilidad para el diseño de estrategias de desarrollo tecnológico y asistencia técnica, diferenciados en función de sus indicadores productivos y de los recursos disponibles.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alonzo, IM. 2000. Potential of silvopastoral systems for economic dairy production in Cayo, Belize and constraints for their adoption. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 96 p.
- Argel, P; Hidalgo, C; Lobo, M. 2000. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110). Gramínea con crecimiento vigoroso con amplio rango de adaptación a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 18 p. (Boletín Técnico).
- Atkinson, P; Hammersley, M. 1994. Ethnography and participant observation. In Denzin, N; Lincoln, Y. eds. Handbook of qualitative research. Thousand Oaks, Sage. p. 248-261.
- Capillon, A; Sebillotte, M. 1982. Etude des systèmes de production des exploitations agricoles. Une typologie. In Séminaire Inter Caraïbes sur les Systèmes de Production Agricole (1980, Pointe-à-Pitre). p. 85-111.
- \_\_\_\_\_; Caneill, J. 1987 Du Champ cultivate aux unités de production: un itinéraire obligé pour l'agronome. Cah. Sci. Hum. 23(3-4): 409-420.
- Cerdas, R. 1977. Cambios en el valor nutritivo de los pastos Jaragua (*Hyparrhenia rufa*, Ness Stapt) y Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) durante la época seca del trópico. Tesis Lic. San José, CR, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica. 81 p.
- CORFOGA. 2004. Análisis de Censo Ganadero 2000. Costa Rica, INFOAGRO. Consultado 29 may. 2004. Disponible en <http://www.corfoga.org/pdf/proyecto/censo2000.pdf>
- Glaser, D; Strauss, A. 1967. The discovery of Grounded Theory. Chicago, US, Aldine Publishing. 150 p.
- Harvey C. 2001. The conservation biodiversity in silvopastoral systems In International Symposium on Silvopastoral Systems. Ed. M. Ibrahim. San José, CR. p. 80-87.
- Holdridge, L. 1978. Ecología, zonas de vida. San José, CR, IICA. 214 p.
- Holmann, F; Estrada, RD. 1997. Alternativas agropecuarias en la región Pacífico Central de Costa Rica: un modelo de simulación aplicable a sistemas de doble propósito. In Lascano, C; Holmam, F. eds. Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Cali, CO, CIAT/CONSORCIO TROPILECHE. p. 134-152.
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2000. Atlas de Costa Rica. Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal – Laboratorio de SIG. 1 disco compacto.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica). 2001. Consultado 30 oct. 2002. Disponible en <http://www.imn.ac.cr/educa/clima/PCENTRAL>.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2000. Censo Ganadero. Costa Rica. Hojas de Excel. *Sin publicar*.
- Marshall C; Rossman, G. 1995. Designing qualitative research, 2 ed. California, US, Sage. 178 p.
- Mojhanna, B. 1993. Manejo de praderas en el trópico. Colombia, CEPUN. 246 p.
- Morrison, B; Gold, M; Lantagne, D. 1996. Incorporating indigenous knowledge of fodder trees into small-scale silvopastoral systems in Jamaica. Agroforestry Systems 34: 101-117.

## Avances de investigación

# Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua

Katty Betancourt<sup>1</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>2</sup>; Bernardo Vargas<sup>1</sup>

**Palabras claves:** cobertura arbórea; estrés calórico; producción de leche; río Bulbul; temperatura rectal.

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de la sombra sobre el comportamiento animal. Se midió el comportamiento (pastoreo, ramoneo, rumia y descanso) de quince vacas bajo alta (22-30%) y baja (0-7%) cobertura arbórea. No se encontraron diferencias significativas para la actividad de ramoneo. Se encontraron diferencias estadísticas significativas en la actividad de pastoreo ( $P < 0,001$ ) en el tratamiento de cobertura alta comparado con el de cobertura baja. El porcentaje de tiempo dedicado a la rumia y descanso resultó significativamente mayor para las vacas en los potreros con cobertura baja ( $P < 0,01$  y  $P < 0,01$ , respectivamente). Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre la cobertura arbórea alta y la baja para la producción de leche, siendo la primera un 29% mayor. Las temperaturas ambientales resultaron significativamente diferentes ( $P < 0,01$  y  $P < 0,01$  con circulación de aire y sin ella, respectivamente) solo entre las horas de medición (mañana y tarde). Se encontraron diferencias significativas en la temperatura rectal ( $P < 0,01$ ) con respecto a la hora del día, siendo más elevada durante la tarde que durante la mañana, independientemente del tipo de cobertura. Se concluye que con una cobertura arbórea de entre 20 y 32% se incrementa el período que los animales dedican al consumo (pastoreo y ramoneo) y se incrementa la producción de leche en la época seca.

**Effect of tree cover on animal behavior in dual-purpose cattle farms in Matiguas, Matagalpa, Nicaragua**

**Key words:** Heat stress; milk production; rectal temperature; Bulbul river; tree cover.

### ABSTRACT

The effect of shade on animal behavior was evaluated. The behavior of fifteen cows (grazing, browsing, ruminating and resting) was measured under a high (22-30%) and low (0-7%) tree cover. No significant differences were found in browsing activity. The time spent on grazing was significantly greater ( $P < 0.0001$ ) for cows in pastures with high tree cover. The percentage of time dedicated to ruminating and resting was significantly higher ( $P < 0.01$  and  $P < 0.01$ , respectively) for cows in pastures with low tree cover. There were statistical differences ( $P < 0.0001$ ) between the treatments regarding milk production, with production being 29% greater in pastures with high tree cover than in pastures with low tree cover. There were significant differences in ambient temperatures ( $P < 0.01$  and  $P < 0.01$  with and without circulation of air, respectively) only between times of measurement (morning and evening). Significant differences in rectal temperature were found ( $P < 0.01$ ), as was an interaction of cows within treatments ( $P < 0.01$ ). These results show that in pastures with a tree cover of 20 to 32%, the animals spent more time feeding and, therefore, shade increases milk production during the dry season.

## INTRODUCCIÓN

Existe un creciente interés por encontrar alternativas de manejo para mejorar el bienestar e incrementar la productividad animal. En el trópico, los sistemas de producción bovina están generalmente basados en el manejo de pasturas sin sombra y, en esas condiciones, los animales sufren de estrés calórico, reduciendo significativamente la producción y los indicadores reproductivos (Drugociu *et al.* 1977, Hahn 1999). Estudios realizados con sombra artificial muestran que los animales bajo

sombra incrementan su producción comparados con aquellos sin sombra (Bennett *et al.* 1985, Pagot 1993, Paul *et al.* 1999). Los animales responden de manera diferente al estrés térmico, con el objetivo de mantener la temperatura corporal. Algunos autores señalan que la digestibilidad del alimento se incrementa con las altas temperaturas, probablemente debido a la disminución en el consumo, lo cual se traduce en un lento pasaje por el rumen (Bernabucci *et al.* 1999, Souza de Abreu *et al.* 2000).

<sup>1</sup> Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales, Universidad Nacional, Costa Rica. Correos electrónicos: kbetancourt@nicaraguense.zzn.com; bvargas@medvet.una.ac.cr

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: mibrahim@catie.ac.cr (autor para correspondencia); charvey@catie.ac.cr

En América Central, los productores introducen árboles en los potreros para proveer sombra a los animales y obtener beneficios adicionales como leña y madera (Villanueva *et al.* 2004). En la zona de cañas, el 90% de las fincas tiene árboles en potreros, siendo guácimo (*Guazuma ulmifolia*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), cenízaro (*Samanea saman*) y laurel (*Cordia alliodora*) las especies principales (Restrepo 2001). Sin embargo, existen pocos estudios que evalúen el efecto de la sombra natural sobre el comportamiento animal y el impacto de este sobre la producción, factor importante en la toma de decisiones sobre la cobertura arbórea en potreros. Los estudios sobre árboles en fincas muestran que los productores manejan diferentes configuraciones de árboles que se caracterizan por tener diferentes densidades, composición y cobertura de árboles (p. ej., cercas vivas, árboles dispersos en potreros). Hay evidencias de que una alta cobertura de árboles resulta en la reducción de la producción de pasto y de la carga animal, pero una mayor cobertura arbórea también puede contribuir a reducir el estrés calórico e incrementar la producción animal (Souza de Abreu *et al.* 2000).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos coberturas arbóreas (baja y alta) sobre el comportamiento del ganado bovino (pastoreo, ramoneo, rumia y descanso) en sistemas de doble propósito bajo pastoreo en fincas de la cuenca del río Bulbul de Matiguás, Matagalpa, Nicaragua.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la cuenca del río Bulbul del municipio de Matiguás, Matagalpa, Nicaragua (85°27'N, 12°50'O; 200-400 msnm). La precipitación anual se encuentra entre 1200 y 1800 mm, y la distribución de las lluvias es más o menos uniforme en los meses de mayo a diciembre, con una temperatura media anual de 27 °C (Guerrero y Soriano 1992).

El principal uso de la tierra en Matiguás es la ganadería, en su mayoría bajo el sistema de doble propósito. Este sistema se maneja con pastoreo extensivo (período de rotación en época lluviosa y pastoreo continuo en época seca), y algunas fincas suministran concentrados y pasto de corte (principalmente *Pennisetum purpureum*) como suplementos para cumplir con los requerimientos nutritivos, con el fin de alcanzar niveles elevados de producción de leche. Un gran porcentaje de los ganaderos (>80%) maneja árboles de sombra en sus potreros.

La raza de ganado predominante en la zona es el producto del cruce entre Brahmán y Pardo Suizo. Las especies de pastos principales son el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), jaragua (*Hyparrhenia rufa*), *Brachiaria brizantha*, guinea (*Panicum maximum*) y ratana (*Ischaemum indicum*). En un gran porcentaje de los potreros se encuentran árboles dispersos, producto de la regeneración natural. Las especies principales son *C. alliodora*, madero negro (*Gliricidia sepium*), *G. ulmifolia*, *E. cyclocarpum*, jenízaro (*S. saman*) y coyote (*Palmisicum peliostachyum*). Además del pasto, los animales consumen los frutos que caen de los árboles, principalmente de *G. ulmifolia* y *E. cyclocarpum*.



Ganado de doble propósito en la zona de Matiguás, Nicaragua.

Se seleccionaron 15 fincas de una base de datos de 100 que tiene el proyecto GEF-silvopastoril en la zona de Matiguás. Los criterios utilizados para su selección fueron:

- Dispersión de los árboles en los pastizales
- Presencia de diferentes rangos de cobertura de árboles en los potreros
- Especie de pasto y área (carga animal) semejantes entre potreros
- Razas de los animales: cruce de Brahmán y Pardo Suizo (predominante en la zona)
- Pastoreo durante al menos ocho horas al día
- El estado fisiológico de los animales (al menos 10 vacas en producción)
- Disposición a cooperar por parte del productor

Se utilizaron imágenes de satélite (imagen de color panchromatic natural de QuickBird 2003), de donde se obtuvieron los mapas de cada finca. Con base en estos, se distinguió entre los sistemas de uso de la tierra (pastos en monocultivo, pasto con baja y alta cobertu-

ra arbórea, tacotales, bosques primarios, bosques secundarios, bosques riparios y cercas vivas). La información se verificó mediante visitas a cada finca y la observación de cada polígono de las muestras del uso de la tierra. De esta manera, se seleccionaron tres fincas por cada tipo de cobertura arbórea (baja y alta) para estudiar el efecto de la cobertura sobre el comportamiento y la producción de leche de las vacas. Los rangos de cobertura baja fueron de 0 a 7% y los de cobertura alta de 22 a 30%. En cada finca se seleccionó un potrero de baja cobertura y uno de alta, cuyo tamaño varió de 3 a 4,5 ha.

Se seleccionaron tres vacas en producción por cada tratamiento en cada finca para estudiar el efecto de los niveles de cobertura de árboles sobre el comportamiento animal durante la época seca (febrero a abril). La raza de las vacas consistió en cruces Brahmán-Pardo Suizo, y los animales seleccionados se encontraban en la tercera y cuarta lactancia, entre el tercer y quinto mes de lactación, y en buen estado de salud. En la época seca, se estableció un sistema de pastoreo continuo con una carga animal de 0,6 unidades animal (1 unidad animal = 400 kg PV). El tamaño del potrero varió entre fincas y, para mantener una carga animal fija, se utilizaron vacas secas en adición a los cinco animales experimentales seleccionados. Cada día, los animales entraban al potrero a las 8:00 h, después del ordeño, y salían a las 17:00 h, permaneciendo en el corral hasta el día siguiente. Las vacas no se suplementaron durante el ensayo, pero sí tuvieron libre acceso a agua.

Los animales tuvieron un período de adaptación de 12 días en cada potrero para establecer el ensayo, y los datos de comportamiento —pastoreo (consumo de pasto), ramoneo (consumo de hojas y ramas tiernas de árboles y arbustos), rumia y descanso (inactividad)— se tomaron durante los siguientes tres días consecutivos, utilizando la técnica visual, la cual consiste en observar y hacer anotaciones

sobre las actividades desarrolladas por los animales desde las 8:00 hasta las 16:00 h. Como información secundaria, se registraron la posición de la vaca (acostada o parada), su permanencia bajo sombra o a pleno sol, la producción al final de cada uno de los tratamientos, la temperatura rectal de los animales y la temperatura ambiental. La temperatura rectal se midió en la mañana a las 10:00 h y en la tarde a las 16:00 h para cada vaca experimental (nueve por tratamiento). La producción de leche se midió en cada vaca experimental durante el ordeño de la mañana en los tres días de toma de datos experimentales. Se analizaron los datos tomando las fincas como bloque y los animales como réplica en cada tratamiento, y las horas de medición como una subparcela.

**Cuadro 1.** Comportamiento de vacas de doble propósito en potreros de cobertura alta (22 – 30%) y baja (0 – 7%) en Matiguás, Nicaragua.

Variables (%)	Cobertura	
	Alta	Baja
Pastoreo	22,15 a	17,50 b
Ramoneo	3,39 a	3,78 a
Rumia	10,80 b	13,09 a
Descanso	13,65 b	15,64 a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comportamiento animal

El tiempo dedicado al pastoreo fue un 4,7% mayor en la cobertura alta respecto a la baja ( $P < 0,05$ ). Para las actividades de rumia y descanso, las medias mayores se presentaron en los animales en los potreros con cobertura baja. En cuanto al ramoneo, no existieron diferencias entre cobertura alta y baja (Cuadro 1). Casasola (2000) encontró que en sitios con mayor cobertura arbórea los consumos se elevaron hasta en 3,7%, comparados con un 1,3 y 2,0% en lugares con menor cobertura arbórea.

**Cuadro 2.** Porcentaje de tiempo que las vacas han dedicado a las distintas actividades durante el período de observación diferenciado mañana y tarde en Matiguás, Nicaragua.

Cobertura arbórea	Período de observación	Actividades			
		Pastoreo (%)	Ramoneo (%)	Rumia (%)	Descanso (%)
Alta	Mañana	9,1	1,0	18,1	21,9
Baja	Mañana	5,3	1,0	21,0	22,8
Alta	Tarde	35,2	5,8	3,5	5,5
Baja	Tarde	29,7	6,6	5,2	8,5

Datos promedio mañana: 8:00 – 11:00 h, y tarde: 12:00 – 16:00 h.



Según Robinson (1983), la presencia de árboles en sistemas extensivos de producción tiene un efecto sobre el aumento del número de horas de los animales en pastoreo. Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la hora ( $P < 0,0001$ ), ya que se dedicó más tiempo al pastoreo en la tarde que en la mañana. Sin embargo, no se encontraron interacciones entre horas y tratamientos, lo cual indica que se presenta un mayor tiempo dedicado al consumo por las tardes, independientemente de los tratamientos (Cuadro 2). Se encontró mayor tiempo de consumo en la tarde que en la mañana (29,7 vs. 5,3 y 35,2 vs. 9,1% para baja y alta cobertura, respectivamente). Esto lleva a que se presenten diferencias en el tiempo dedicado a la rumia y el descanso.

### Temperatura ambiental

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre horas (mañana y tarde) ( $P < 0,01$ ) con circulación de aire y sin circulación de aire (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Temperatura ambiental en vacas bajo diferentes coberturas arbóreas en Matiguás, Nicaragua.

Cobertura arbórea	Período de observación	Con circulación de aire	Sin circulación de aire
Alta	Mañana	26,0 ± 0,01	29,3 ± 1,52
	Tarde	28,8 ± 3,33	36,3 ± 1,04
Baja	Mañana	26,3 ± 1,52	28,0 ± 1,73
	Tarde	31,5 ± 2,00	38,8 ± 3,05

Datos promedio mañana: 8:00 – 11:00 h, y tarde: 12:00 – 16:00 h. Valores corresponden a promedio ± desviación estándar.

### Temperatura rectal y producción de leche

Los resultados muestran que la temperatura rectal de las vacas fue afectada significativamente ( $P < 0,05$ ) por el nivel de cobertura arbórea. En promedio, la temperatura rectal fue mayor en baja cobertura (38,7 °C) comparada con alta cobertura arbórea (38,3 °C) (Cuadro 4). Esto indica que los árboles en potreros tienen un potencial elevado para aliviar el estrés calórico en animales e incrementar el consumo voluntario de materia seca. En vacas Jersey, en potreros de *C. nlemfluensis* y *Brachiaria radicans* con sombra de diversos árboles, el consumo de pastos pasó de 2,2 a 2,5% PV con respecto a potreros sin sombra. Estos cambios fueron explicados por la reducción del estrés calórico de las vacas en potreros con árboles (Souza de Abreu *et al.* 2000).

Los análisis de varianza detectaron efectos significativos ( $P < 0,05$ ) del tratamiento sobre la producción de leche. Las vacas que se hallaban pastoreando en potreros

de alta cobertura arbórea tuvieron en promedio 29% más producción de leche que las vacas en los potreros con baja cobertura arbórea (Cuadro 4), con poca producción promedio de leche de todas las vacas ( $< 4,5$  kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Esta baja producción promedio podría atribuirse a que el estudio se realizó en la época seca, cuando escasea el forraje. Sin embargo, la diferencia en la producción entre tratamientos se podría atribuir a varios factores, incluyendo la reducción del estrés calórico ( $<$ temperatura rectal) y un mayor consumo de follaje y frutos por la inclusión de árboles en los potreros. En el estudio realizado por Souza *et al.* (2000), se mostró que las vacas que se encontraban en sistemas silvopastoriles produjeron más leche ( $> 15\%$ ) comparadas con aquellas que estuvieron a pleno sol. Restrepo (2001) muestra entre un 2 y un 5% más de aumento de peso vivo en animales bajo pastoreo en potreros de cobertura alta, en comparación con los que se encontraban en cobertura baja durante la época seca.

**Cuadro 4.** Promedio de temperatura rectal medida en la mañana y la tarde y producción de leche de vacas en pastoreo bajo cobertura de árboles alta (22 – 30%) y baja (0 – 7%) en Matiguás, Nicaragua.

Temperatura rectal (oC)	Cobertura	
	Alta	Baja
Mañana	38,1 ± 0,4	38,5 ± 0,3
Tarde	38,5 ± 0,3	38,9 ± 0,2
Promedio	38,3 b	38,7 a
Producción de leche (kg vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	4,1 ± 0,7	3,2 ± 0,7

Letras diferentes en la misma fila denotan diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ).

### CONCLUSIONES

- En potreros con baja cobertura de árboles, el ganado dedica más tiempo a la rumia y el descanso, lo cual influye directamente en la producción de leche.
- La presencia de alta cobertura arbórea en potreros contribuye fuertemente a disminuir la temperatura rectal de las vacas, lo cual denota una disminución en el estrés calórico al cual están sometidas en climas cálidos.
- La reducción del estrés calórico y el mayor consumo de follaje y frutos en las vacas en potreros de alta cobertura arbórea contribuyeron a una mayor producción de leche, en comparación con potreros de baja cobertura arbórea.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bennett, IL; Finch, AV; Holmes, CR. 1985. Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 13: 227-236.
- Bernabucci, U; Bani, P; Ronchi, B; Lacetera, N; Nardone, A. 1999. Influence of short and long term exposure to a hot environment on rumen passage rate and diet digestibility by Friesian heifers. *Journal of Dairy Science* 82: 967-973.
- Casasola, F. 2000. Productividad de los sistemas Silvopastoriles Tradicionales en Moropotente, Estelí, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 94 p.
- Drugociu, G; Runceanu, L; Nicorici, R; Hritcu, V; Pascal, S. 1977. Nervous typology of cows as a determining factor of reproductive and productive behaviour. *Animal Breeding* 45: 1262.
- Guerrero, A; Soriano, C. 1992. Monografía de Matagalpa (en línea). Consultado jun. 2002. 27 p. Disponible en [www.inifom.gov.ni/carácter/Información/Matagalpa/Matiguas](http://www.inifom.gov.ni/carácter/Información/Matagalpa/Matiguas).
- Hahn, G. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Dairy Science* 82: 10-20.
- Pagot, J. 1993. Animal production in the tropics and subtropics. London, UK, Macmillan. 517 p.
- Paul, RM; Turner, LW; Larson, BT. 1999. Effects of shade on production and body temperatures of grazing beef cows (en línea). In 2000 KY Beef Cattle Report. Disponible en <http://www.bae.uky.edu/ext/Publications/AEUs/aeu-91.pdf>
- Robinson, P. 1983. The role of silvopastoralism in small farming systems. In ICRAF/BAT workshop (Nairobi, KE). Proceedings. Nairobi, KE, ICRAF. p. 147-169.
- Restrepo, C. 2001. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis. Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Souza de Abreu, M; Ibrahim, M; Harvey, C; Jimenez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería de las Américas* 7(26): 53-56.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, CA; Sinclair, FL; Gomez, R; López, M; Esquivel, H. 2004. The importance of silvopastoral systems in rural livelihoods to provide ecosystems services. In Mannetje, L'T; Ramirez, L; Ibrahim, M; Sandoval, C; Ojeda, N; Ku, J. eds. International Symposium on silvopastoral systems. Mérida, MX, Universidad Autónoma de Yucatán. p. 183-188.

## Avances de investigación

# Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica

José A. Gobbi<sup>1</sup>; Francisco Casasola<sup>2</sup>

**Palabras claves:** pago por servicios ambientales; análisis beneficio-coste; ganadería tropical.

### RESUMEN

Los sistemas ganaderos convencionales se caracterizan por tener baja rentabilidad y efectos ambientales negativos, sobre todo cuando las tierras que ocupan no poseen vocación ganadera. Por lo tanto, es deseable promover sistemas ganaderos alternativos que sean financieramente rentables y amigables con el ambiente. Recientemente, se ha iniciado un proyecto destinado a promover la adopción de sistemas silvopastoriles por medio de un pago por los servicios ambientales generados por los mismos. Este trabajo examina, por medio de un modelo de análisis *ex-ante* de beneficio-coste, la factibilidad financiera de invertir en diferentes tecnologías silvopastoriles en el 20% de la superficie de una finca ganadera convencional en la zona de Esparza, Costa Rica. Los resultados indican que la inversión es rentable, con un valor presente neto incremental de US\$ 1613 y una tasa interna de retorno del 20%, considerando solo los ingresos pecuarios. Los ingresos no descontados estimados por servicios ambientales durante cuatro años son de US\$ 3369. La factibilidad de la inversión está directamente relacionada a mejoras en los parámetros productivos y reproductivos del hato debidas a la incorporación de sistemas silvopastoriles. Aunque los pagos por servicios ambientales son relativamente marginales, ayudan a atenuar los altos costos iniciales asociados a la adopción de las tecnologías silvopastoriles y a disminuir el período de reembolso de la inversión.

**Financial behaviour of investments in silvopastoral systems in cattle farms of Esparza, Costa Rica**

**Key words:** Benefit-cost analysis; payment for environmental services; Tropical livestock.

### ABSTRACT

Conventional livestock production systems are characterized by low financial returns and negative environmental effects. Therefore, it is desirable to promote livestock production systems that are financially profitable and environmentally friendly. Recently, a project has been launched to promote the adoption of silvopastoral systems by paying for the environmental services generated by those systems. This paper examines the financial feasibility of investing in silvopastoral systems on 20% of the area of a conventional livestock farm in Esparza, Costa Rica. Results from an *ex-ante* benefit-cost analysis indicate that the investment is financially viable, with an incremental net present value of US\$ 1,613 and an internal rate of return of 20%, if only livestock production is considered. Total income from environmental services without discounting during four years is US\$ 3,369. Investment feasibility is directly related to improvements in the productive and reproductive parameters of the livestock herd caused by the incorporation of silvopastoral systems. Although payments from environmental services are relatively marginal, they help in lessening the high initial costs associated with adopting silvopastoral technologies and in reducing the investment's payback period.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) incluyen una gama amplia de técnicas de manejo, tales como diversidad en el uso de especies de plantas, alternancia de cosechas, empleo de cercas vivas, uso eficiente de estiércol, la incorporación de árboles en las pasturas y la creación de múltiples tipos de hábitat en la finca (Pezo e Ibrahim 1999, Murgueitio 2000). Experiencias preeliminares indican que, comparados con los sistemas tradicionales de

pastoreo, los sistemas silvopastoriles de vegetación mixta con árboles son más productivos (Botero *et al.* 1999, Alonzo 2000, Ibrahim *et al.* 2001), acumulan cantidades sustanciales de carbono (López *et al.* 1998, Kanninen 2001), incrementan la biodiversidad (Naranjo 2000), reducen la erosión de los suelos (Nair *et al.* 1995) y mejoran la infiltración del agua (Rhoades *et al.* 1998). Por el contrario, los sistemas tradicionales de pastoreo —que

<sup>1</sup> Economista ambiental, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: jgobbi@catie.ac.cr (autor para correspondencia).

<sup>2</sup> Coordinador Nacional, Proyecto GEF-Silvopastoril, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: fcasasol@catie.ac.cr



El bosque natural (a) es el uso del suelo que más contribuye a la generación de servicios ambientales (índice 2); las pasturas degradadas (b) constituyen el uso que menos servicios genera (índice 0) (proyecto GEF-Silvopastoril).

ocupan una porción considerable de las tierras agrícolas de la región neotropical— generan impactos ambientales negativos y su rentabilidad es insuficiente para mantener a la población humana que depende de los mismos, particularmente cuando se encuentran en tierras marginales donde la capacidad de uso del suelo no es apta para la ganadería (Pomareda y Steinfeld 2000, Steinfeld 2000). Por lo tanto, es deseable promover la adopción de SSP de manejo en el Neotrópico para mejorar las condiciones de vida de la población local y reducir o reparar los impactos negativos sobre el ambiente generados por el uso de sistemas tradicionales de pastoreo.

El proyecto *Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas*<sup>3</sup> tiene, entre otros objetivos, el de mejorar el funcionamiento de los ecosistemas de tierras de pastoreo degradadas en Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Dichos objetivos serán alcanzados mediante el desarrollo de SSP más intensivos, que provean servi-

cios ambientales globales y beneficios socioeconómicos locales. El proyecto contempla, entre otras actividades, desarrollar opciones técnicas silvopastoriles de manejo para cada uno de los países en los que se implementará, las cuales mejorarán los parámetros productivos y reproductivos de la actividad ganadera. El proyecto compensará financieramente a los finqueros por las externalidades positivas generadas por los SSP de manejo, por medio del pago de algunos de los servicios ambientales (secuestro de carbono y biodiversidad) que los mismos generan en la finca. El pago es a nivel experimental, por un tiempo limitado (cuatro años), y pretende actuar como un estímulo para que los finqueros adopten SSP.

Para que la estrategia esbozada anteriormente sea exitosa, es necesario que los SSP propuestos a los productores sean financieramente competitivos frente a los sistemas convencionales de pastoreo, sobre todo porque la adopción de los SSP demanda una alta inversión inicial y se debe esperar cierto tiempo para obtener sus bene-

<sup>3</sup> El proyecto es implementado por el Banco Mundial, cuenta con financiamiento del GEF y de la iniciativa FAO-LEAD, y es coordinado por CATIE junto a CIPAV (Colombia) y Nitlapán (Nicaragua).

ficios. El poder estimar la rentabilidad de la inversión asociada a cada opción de manejo derivada del menú técnico, así como el tamaño de la inversión y el aporte de lo generado por los servicios ambientales para cubrirla, son claves para proveer de criterios más sólidos a los productores y a los decisores en cuanto a la factibilidad económico-financiera de invertir en SSP. A tal fin, en este trabajo se considera la viabilidad financiera de invertir en las diferentes tecnologías silvopastoriles recomendadas para fincas ganaderas. El objetivo de este estudio es explorar los posibles efectos de la adopción de los SSP y de un pago por servicios ambientales sobre el comportamiento financiero de la producción pecuaria en fincas ganaderas de la zona de Esparza, Costa Rica. Más específicamente, se analiza si los incrementos en productividad pecuaria asociados a la incorporación de prácticas silvopastoriles pagan la inversión por sí mismos, o si es necesario el pago por servicios ambientales para viabilizar la inversión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El área de estudio abarca los territorios de los cantones de Montes de Oro, Santiago y Esparza, y el distrito de Barranca, perteneciente al cantón central de Puntarenas, todos en la región Pacífico Central de Costa Rica. Según la clasificación de vida de Holdridge (1978), la zona de estudio se ubica en el Bosque Sub Húmedo Tropical. Posee una estación seca marcada entre los meses de diciembre a mayo, y una precipitación promedio anual de 2040 mm. La temperatura promedio anual es de 27 °C. El área de estudio presenta altitudes entre los 50 y los 900 msnm. La topografía en las zonas bajas (50 a 200 msnm) es plana, mientras en las zonas más altas (200 a 900 msnm) es fuertemente ondulada. Los suelos son clasificados como Typic Haplustalf muy erosionables con alta pedregosidad.

La región Pacífico Central, donde se ubica el área de estudio, posee una población estimada en 200 mil personas, una tasa de desempleo del 8% y de analfabetismo del 12%. Las principales actividades agrícolas de la región son la ganadería de carne y leche y los cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), arroz (*Oryza sativa*) y cítricos. Se cuenta con buena infraestructura de comunicación vial; está atravesada por la carretera Panamericana, varias carreteras pavimentadas y una extensa red de caminos secundarios de tierra o revestidos con grava. Esto permite el fácil acceso al principal mercado regional (Puntarenas), y la comunicación con la meseta central y la ciudad de San José (capital del país),

y las cuencas lecheras agroindustrializadas de Monteverde y Zapotal.

### Análisis financiero de la inversión en SSP

Se efectuó un análisis de beneficio-costo para evaluar la viabilidad financiera —desde la perspectiva del productor— de invertir en la incorporación de SSP en fincas ganaderas de la zona de Esparza, Costa Rica. El modelo se elaboró siguiendo a Brown (1979) y Gittinger (1982) para una finca hipotética, pero representativa en cuanto a manejo y niveles de producción, con ganadería de doble propósito de leche y carne. El modelo considera solamente el componente pecuario de la incorporación de SSP (no incluye ingresos ni gastos de operación asociados al componente forestal) y se elaboró de la siguiente manera: (1) se estimaron los parámetros de producción y venta correspondientes a leche y carne de la finca típica; (2) se calcularon los gastos de establecimiento de sistemas silvopastoriles en un 20% de la finca (porcentaje de cambio en el uso del suelo que se ha observado en el caso de aquellos finqueros que ya han adoptado SSP de manejo en la zona), y se estimaron los costos de producción ganadera y las ventas de leche y carne de la finca con sistemas silvopastoriles; (3) se estimó la provisión de los servicios ambientales en la finca por medio de un índice de cambio de uso del suelo elaborado por el proyecto GEF-Silvopastoril (ver más abajo), y se calcularon los ingresos generados por los mismos; (4) se creó un flujo de caja para un período de 15 años (vida útil estimada de la pastura mejorada); (5) se estimó el valor actual neto (VAN) considerando la situación de la finca con SSP (“con” el proyecto) frente a la situación de la finca con ganadería convencional (“sin” el proyecto), a fines de obtener los beneficios netos incrementales debidos a la adopción de los SSP, y (6) se sensibilizó el modelo para obtener el efecto sobre el VAN incremental de cambios en los precios de los productos pecuarios, de los insumos, de la mano de obra y de la tasa de descuento.

Los números básicos correspondientes a la productividad ganadera de la finca, gastos de operación y precios de los productos pecuarios se derivaron inicialmente de la encuesta de campo implementada por el proyecto a 70 fincas, y se calibraron por medio de consultas con los técnicos locales. Los gastos asociados a la inversión en los SSP fueron provistos por técnicos del CATIE. Los datos se utilizaron para crear un presupuesto de finca, el cual fue utilizado posteriormente para desarrollar el modelo. Todos los precios (gastos de producción y ventas) son precios de finca, expresa-

dos en dólares estadounidenses<sup>4</sup> sin ajuste por inflación. Los datos corresponden al año 2001. La tasa real de descuento utilizada en el análisis es del 10,8%.

### Pago por servicios ambientales

Los finqueros que adoptan SSP de manejo reciben una compensación monetaria por los servicios ambientales que se generen en sus fincas durante un período de cuatro años. El pago se efectúa en forma anual, a partir del primer año de la inversión. El principio rector del sistema de pagos propuesto es que el finquero provee servicios ambientales por medio de los cambios en el uso de la tierra en la finca, al pasar de monocultivos de pastu-

ras naturales degradadas a sistemas de vegetación más complejos, que incluyen la integración de pastos mejorados y árboles en el sistema pecuario de la finca. Por lo tanto, los cambios en los patrones de uso del suelo se toman como indicadores del volumen de los servicios ambientales por ser provistos. Los servicios ambientales que se compensarán son el secuestro de carbono y el incremento en biodiversidad. Los servicios ambientales se pagan al nivel de la finca en su totalidad y se basan en un índice de cambio en el uso del suelo (Cuadro 1). El pago por los servicios ambientales se hace proporcional al incremento (diferencial) en los mismos, medido con relación a una línea de base establecida al año 0. Para

#### Cuadro 1.

##### Índice de cambio de uso del suelo

El índice para el pago por servicios ambientales basado en cambios en el uso del suelo fue desarrollado por un panel de expertos durante un taller efectuado en el CATIE (3-7 diciembre 2001). Existen 28 formas diferentes de uso del suelo en los sitios seleccionados para la implementación del proyecto en los tres países, las cuales varían desde pasturas naturales degradadas hasta bosques de regeneración secundaria. Para la construcción del índice, a cada tipo de uso del suelo se le asigna un puntaje según su capacidad de capturar carbono y sostener o promover la biodiversidad. Consecuentemente, el índice de cambio en el uso del suelo surge de la combinación (sumatoria) de los puntos asignados por captura de carbono y por biodiversidad a cada tipo de uso del suelo. El puntaje máximo se le asigna al bosque primario, el tipo de uso del suelo que provee el mayor volumen de servicios ambientales. En el otro extremo de la escala, se le asigna cero puntos a las pasturas degradadas, dado que este es el tipo de uso de suelo indeseable que el proyecto intenta transformar.

Uso de tierra	Puntaje		Índice
	Biodiversidad	Carbono	
Cultivos granos y tubérculos	0	0	0
Pastura degradada	0	0	0
Pastura natural sin árboles	0,1	0,1	0,2
Pastura mejorada sin árboles	0,1	0,4	0,5
Cultivos semi-perennes (plátano, café sin sombra)	0,3	0,2	0,5
Pastura natural + baja densidad árboles (30 árboles/ha)	0,3	0,3	0,6
Pastura natural enriquecida con árboles en baja densidad (30 árboles/ha)	0,3	0,3	0,6
Cercas vivas nuevas o con podas	0,3	0,3	0,6
Pastura mejorada enriquecida con árboles en baja densidad (30 árboles/ha)	0,3	0,4	0,7
Cultivos frutales en monocultivo	0,3	0,4	0,7
Banco forrajero de gramíneas	0,3	0,5	0,8
Pastura mejorada + baja densidad de árboles	0,3	0,6	0,9
Banco forrajero con leñosas		0,9	
Pastura natural + alta densidad de árboles	0,5	0,5	1
Cultivos frutales policultivo	0,6	0,5	1,1
Cercas vivas multiestrato o cortinas rompe vientos	0,6	0,5	1,1
Banco forrajero diversificado	0,6	0,6	1,2
Plantaciones maderables monocultivo	0,4	0,8	1,2
Café con sombra	0,6	0,7	1,3
Pastura mejorada + alta densidad de árboles	0,6	0,7	1,3
Guadua o bambú	0,5	0,8	1,3
Plantaciones maderables diversificadas	0,7	0,7	1,4
Tacotales	0,6	0,8	1,4
Bosque ripario	0,8	0,7	1,5
Silvopastoriles intensivos	0,6	1	1,6
Bosque secundario intervenido	0,8	0,9	1,7
Bosque secundario	0,9	1	1,9
Bosque primario	1	1	2

<sup>4</sup> Tasa de cambio 330 colones = 1 US dólar.

evitar la creación de un incentivo perverso que lleve al finquero a disminuir su línea de base y recompensar aquellos que ya habían invertido en SSP en el pasado, en el momento de establecer la línea de base se paga US\$ 10 por punto del índice. A partir del año 1, el valor por punto del índice es de US\$ 75.

### Supuestos del modelo de flujo de caja

Los siguientes supuestos fueron asumidos en el desarrollo del modelo de flujo de caja: (1) los niveles de producción ganadera en la situación “sin” el proyecto permanecen constantes a lo largo de la vida del proyecto; (2) los indicadores productivos y reproductivos de la actividad ganadera en la situación “con” el proyecto se mejoran como resultado de la mejoría en la alimentación de los animales, producto de la incorporación de los sistemas silvopastoriles en la finca; (3) no hay incremento en el número de animales en la situación “con” el proyecto (los animales excedentes se venden al final del año); (4) los incrementos en la producción ganadera están relacionados con las inversiones en sistemas silvopastoriles efectuadas en los primeros años del proyecto, y (5) se consideran en el flujo de caja solo los ingresos generados por los rubros pecuarios.

### Supuestos de parámetros de reproducción y producción de los SSP

Algunos investigadores han demostrado que la implementación de prácticas silvopastoriles mejora los indicadores reproductivos y productivos del hato ganadero (Murgueitio 2000, Alonzo *et al.* 2001). Por lo tanto, se asume que la adopción de los menús técnicos propuestos para la finca resulta en un aumento del porcentaje de natalidad y en una disminución del porcentaje de mortalidad de la cría (Cuadro 2). Asimismo, se asume que la producción anual de leche se incrementa progresivamente, al igual que el número de animales excedentes en el hato. Los parámetros asociados con las prácticas silvopastoriles están basados inicialmente en lo reportado por Botero *et al.* (1999), y fueron calibrados posteriormente con técnicos ganaderos de la zona de Esparza a las condiciones locales.

### Descripción de la finca típica

La finca típica tiene una superficie de 30 ha. El sistema de producción ganadera es de doble propósito para leche y cría. En la finca se maneja un hato de 21 cabezas, con una carga animal de 0,8 animales/ha. El 50% de su superficie está cubierto de pastos naturales y un 38% (11 ha) de pastos mejorados (*Brachiaria bryzanta* y *B. decumbens*), distribuidos en 10 potreros. La densidad de

los árboles de sombra en los potreros es baja, de unos 2–5 individuos adultos por ha. La infraestructura edilicia consiste de la casa del finquero y un corral con bodega. Las cercas existentes son en su mayoría (70%) cercas vivas, encontrándose cercas muertas en la zona de la fachada de la finca y en el camino interno.

Las fuentes de agua para el ganado son naturales, a partir de nacientes invernales y quebradas. Las quebradas de agua carecen de cercas que impidan el ingreso del ganado. La disponibilidad de agua y la disposición de los potreros determinan que se haga rotación de potreros durante el invierno (cuando la naciente invernal tiene agua). Durante el verano, sin embargo, no se emplea rotación de potreros, ya que para facilitar el acceso del ganado al agua y para regular la carga sobre los pastos, todos los potreros se mantienen abiertos.

**Cuadro 2.** Parámetros productivos y reproductivos de la finca ganadera “sin” y “con” sistemas silvopastoriles.

	Sin proyecto	Con proyecto
Carga animal/ha	0,80	0,88
Hectáreas efectivas	26,00	24,00
Producción de leche (L vaca <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) <sup>z</sup>	800,00	1100,00
Animales excedentes del hato		
para la venta/año <sup>y</sup>	3,90	5,20
Porcentaje de natalidad	50,00	65,00
Porcentaje de mortalidad	10,00	7,00

<sup>z</sup> La producción de leche en la situación “con” el proyecto se incrementa de la siguiente manera: años 1 y 2 = 800 L vaca<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; año 3 = 850 L vaca<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; años 4 y 5 = 900 L vaca<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; años 6 y 7 = 1000 L vaca<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; años 8 a 15 = 1100 L vaca<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. <sup>y</sup> El número de animales excedentes en el hato en la situación “con” el proyecto por año es variable, el reportado se corresponde con la estructura del hato al año 15.

La alimentación del ganado es mayormente sobre la base de pastos naturales, aunque se la combina con pastos mejorados del género *Brachiaria*. El ganado recibe sales mineralizadas (Pecutrín®) durante todo el año (40 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). A las vacas en producción y a los terneros se les suplementa durante los meses del verano (mediados de enero a mediados de mayo) con rastrojos de cultivos, que incluyen cogollo de caña, sorgo y paja frijol, producidos en la misma finca. También se los suplementa con pollinaza durante el mismo período, a razón de 1,5 kg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. La monta es natural y el ordeño se efectúa con el ternero al pie. Los terneros se venden en el momento del destete.

El manejo sanitario del ganado incluye la vacunación de todo el hato dos veces por año con la vacuna doble, la desparasitación interna de todos los animales dos veces al año y la desparasitación externa (baño) de todos los

animales una vez por año. El manejo de las pasturas conlleva la chapea de los potreros seguida de una aplicación de herbicida, actividades que se efectúan todos los años. El herbicida más comúnmente empleado es una mezcla de tordón y 2, 4 D-amina+picloram, en una proporción de 1:4.

### Menú técnico SSP propuesto para la finca

Las condiciones biofísicas de la región de Esparza son adversas para la implementación de un rango amplio de tecnologías silvopastoriles. Las principales limitantes son la baja fertilidad y estructura de los suelos, la presencia de una época de sequía (verano) muy marcada, y la topografía accidentada de las fincas, donde aproximadamente un 40% de la superficie presenta pendientes mayores del 30%. Las opciones tecnológicas recomendadas para iniciar la adopción (año 1) de los sistemas silvopastoriles integrados de manejo en la finca son: (i) establecimiento de 0,75 ha de banco forrajero consistente en una asociación de *Cratylia* (75%) y caña de azúcar (25%); (ii) reemplazo de 3 ha de pastos naturales por pastos mejorados de alta producción (*B. brizanta* y *B. decumbens*); (iii) incorporación de cercas vivas en la división/separación de potreros de los nuevos potreros (1,3 km); (iv) liberación de 1 ha para regeneración en zonas de ladera con pendientes marcadas que no sean aptas para pastoreo o que sean áreas de captación/nacientes de aguas, las cuales deben cercarse para evitar el ingreso del ganado y se deben enriquecer por medio de la siembra de 100 árboles/ha, y (v) incorporación de 100 árboles/ha en las 11 ha de pasturas mejoradas ya existentes en la finca. El monto total de la inversión del establecimiento del menú silvopastoril es de US\$ 2602,16 (Cuadro 3). El finquero también invierte en una picadora (US\$ 300) para poder picar el pasto proveniente del banco de forraje.



Productora afiliada al proyecto silvopastoril del GEF recibiendo el pago por servicios ambientales (L. E. Quirós).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Gastos de operación de la finca

La adopción de las tecnologías silvopastoriles propuestas para la finca ganadera típica conlleva que los gastos de operación se incrementen progresivamente hasta estabilizarse alrededor de los US\$ 1345 a partir del cuarto año (Cuadro 4). Dicho incremento representa un aumento del 30,5% con relación a los gastos de operación de la finca ganadera “sin” el proyecto. El incremento en los gastos de operación se debe principalmente a un aumento del 42,5% en el número de jornales (equivalente a 47 jornales/año adicionales) para manejar la finca, los cuales están relacionados con el corte y acarreo de lo producido en el banco de forraje, el mantenimiento de cercas vivas y el manejo de los animales. La incorporación de SSP trae aparejada una reducción de aproximadamente US\$ 90/año en los gastos de operación asociados a la suplementación de los animales con pollinaza, aunque la misma no alcanza a compensar los aumentos en los costos de mano de obra (de unos US\$ 344/año) mencionados anteriormente.

### Ingresos por venta de productos pecuarios

Los ingresos de la finca provienen de la venta de leche, terneros y animales de descarte (Cuadro 5). Los ingresos totales de la finca aumentan progresivamente desde US\$ 2052/año hasta US\$ 3055/año a partir del año 10, lo cual representa un incremento del 49% con relación a

**Cuadro 3.** Costos de establecimiento de las opciones técnicas del menú de SSP propuesto para la finca típica de Esparza, Costa Rica. Costos por finca.

Opción técnica	Monto inversión (US\$)
Pastura de Brachiaria + árboles	739,98
Enriquecimiento zona regeneración	48,48
Banco de proteína	493,92
Cercas vivas	786,50
Siembra árboles en pastos mejorados existentes	533,28
Total	2602,16



**Cuadro 4.** Gastos de operación de la finca ganadera “sin” y “con” sistemas silvopastoriles.

Categoría de gasto	Sin proyecto (US\$)	Con proyecto (US\$)
<b>Suplementación<sup>z</sup></b>		
Minerales (US\$ 2,92/animal)	61,32	85,85
Pollinaza (US\$ 8,99/animal) <sup>y</sup>	89,90	0,0
<b>Salud animal<sup>z</sup></b>		
Vacunación (US\$ 0,60/animal)	12,60	12,78
Desparasitación interna (US\$ 1,39/animal)	29,19	29,61
Desparasitación externa (US\$ 9,09/hato)	9,09	9,09
<b>Mano de obra<sup>x</sup></b>		
Chapea de potreros	189,02	183,57
Aplicación de herbicidas	63,01	63,01
Ordeño	193,38	232,05
Fertilización banco de forraje	0,0	5,45
Corta y acarreo banco proteína/forraje	0,0	218,10
Mantenimiento de cercas	363,50	458,01
<b>Insumos potreros</b>		
Fertilizante para banco forrajero (US\$ 60,6 ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	0,0	45,45
Herbicidas	17,94	0,0
<b>Total</b>	<b>1031,07</b>	<b>1345,09</b>
Porcentaje incremento		+30,5%

<sup>z</sup> En los cálculos de los gastos de suplementación y de salud animal se incluyen los correspondientes al excedente de animales que se vende cada año.

<sup>y</sup> Durante el verano, para vacas con sus crías, a razón de (1,5 kg/animal x 125 días), sólo en la situación “sin” el proyecto.

<sup>x</sup> Valor del jornal: US\$ 7,27/día.

los ingresos de la finca ganadera “sin” el proyecto. La mayor parte de esos ingresos provienen de la venta de leche, que representa el 60% de los mismos. Cabe destacar que, en el futuro, la finca recibirá ingresos provenientes de los árboles incorporados por medio de los SSP, aunque estos se excluyen del presente modelo.

**Cuadro 5.** Ventas de animales y leche en la situación “sin” y “con” el proyecto para la finca típica de Esparza, Costa Rica.

	Sin proyecto	Con proyectoz
Número de animales vendidos/año <sup>y</sup>		
Hembras	1,8	2,2
Machos 0-1 año	1,8	2,7
Toros	0,3	0,3
Litros de leche vendidos/año <sup>x</sup>	4000,0	6617,0

<sup>z</sup> En la situación con el proyecto, tanto el número de animales como los litros de leche vendidos por año varían a lo largo del tiempo; el descrito en la tabla es el que corresponde al año 15 del proyecto. <sup>y</sup> El precio de venta de las hembras de descarte es de US\$ 350,0 y la de los terneros es de US\$ 190,0. <sup>x</sup> El precio de venta de la leche es de US\$ 0,27/L.

### Ingresos por servicios ambientales

Los ingresos totales por servicios ambientales, incluyendo lo percibido por línea de base, ascienden a US\$ 3518 (Cuadro 6). Excluyendo el monto por línea de base, el total de lo percibido correspondiente a servicios ambientales a lo largo de los cuatro años representa un ingreso de US\$ 112,3/ha. Los ingresos estimados genera-

dos por los servicios ambientales cubren más de la mitad de la inversión asociada a los gastos de establecimiento del menú en SSP propuesto para la finca (sin considerar costos de mantenimiento de la inversión en años posteriores). Si bien el monto total de lo generado por los servicios ambientales es relativamente marginal cuando se lo compara con lo generado por los ingresos ganaderos de la finca a lo largo de la vida del proyecto, aquellos ayudan a atenuar los altos costos iniciales asociados a la adopción de las tecnologías silvopastoriles y a disminuir el período de reembolso de la inversión (ver más abajo).

### Resultados del análisis financiero

Los resultados del análisis financiero indican que la adopción de los SSP de manejo en la finca es financieramente rentable. El modelo arroja un VAN incremental positivo de US\$ 1613 y una tasa interna de retorno a los recursos propios del finquero del 20%. Cuando no se compensa al finquero por los servicios ambientales generados en la finca, la inversión posee una TIR del 7%. Los resultados también indican que los ingresos generados por los servicios ambientales disminuyen el período de reembolso de la inversión de cuatro a dos años. El análisis de sensibilidad del modelo muestra que, en la presencia de pago por servicios ambientales, la inversión resiste disminuciones en los precios de la leche y de la carne de hasta un 15%, y de aumentos de hasta el 20% en el valor del jornal.

**Cuadro 6.** Cómputo de los ingresos por servicios ambientales para la finca típica de Esparza, Costa Rica.

Línea de base (LB)	Año del proyecto				
	1	2	3	4	
Cercas vivas (km)	0	1,3	1,3	1,3	1,3
Pastura natural (ha)	16	11,25	11,25	11,25	11,25
PM baja densidad de árboles (ha)	11	0	0	0	0
PM alta densidad de árboles (ha)	0	3	3	14	14
PM enriquecida con árboles (ha)	0	11	11	0	0
Banco de proteínas (ha)	0	0,75	0,75	0,75	0,75
Tacotal (charrales) (ha)	0	1	1	1	1
Bosque (ha)	3	3	3	3	3
		Puntaje según índice de cambio uso del suelo <sup>2</sup>			
Cercas vivas (km)	0	0,78	0,78	0,78	0,78
Pastura natural (ha)	3,2	2,25	2,25	2,25	2,25
PM baja densidad de árboles (ha)	6,6	0	0	0	0
PM alta densidad de árboles (ha)	0	3,9	3,9	18,2	18,2
PM enriquecida con árboles (ha)	0	9,9	9,9	0	0
Banco de proteínas (ha)	0	0,6	0,6	0,6	0,6
Tacotal (charrales) (ha)	0	1,4	1,4	1,4	1,4
Bosque (ha)	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
Total puntos finca	14,90	23,93	23,93	28,33	28,33
Diferencia año - LB	—	9,03	9,03	13,43	13,43
Ingresos por SA (TP * US\$ 10)	149,0	—	—	—	—
Ingresos por SA (TP * US\$ 75)	—	677,25	677,25	1007,25	1007,25

<sup>2</sup> Puntaje de cada uno de los usos de la tierra de acuerdo al índice de cambio de uso del suelo = área tipo uso del suelo x correspondiente punto del índice de cambio de uso del suelo.

PM: pastura mejorada; TP: total de puntos; SA: servicios ambientales.

## CONCLUSIONES

Bajo los supuestos con que se elaboró el modelo, invertir en SSP en una finca ganadera de doble propósito de la zona de Esparza, Costa Rica, es financieramente rentable. Sin embargo, los elevados costos iniciales de establecimiento por unidad de superficie de los SSP y la necesidad de esperar cierto tiempo a que los SSP se traduzcan en mejoras de los parámetros reproductivos y productivos del hato requieren de un incentivo para hacer la inversión financieramente viable. Al mismo tiempo, los indicadores de factibilidad financiera de la inversión total (VAN y TIR) son muy sensibles a las proyecciones que se hagan con respecto a la producción pecuaria. En otras palabras, como el aporte por servicios ambientales es marginal en relación con los ingresos totales de la finca (aunque, en su ausencia, la tasa interna de retorno está por debajo del costo de oportunidad del capital), el grueso del retorno a la inversión proviene de la mejora en los parámetros productivos y reproductivos que genera la adopción de los SSP. Por lo tanto, cambios en dichos parámetros y cambios en las condiciones de mercado (precios) de la actividad pecuaria son los principales determinantes de la

factibilidad total de la inversión en la presencia de pago por servicios ambientales.

El análisis presentado se centra intencionadamente solo en la producción pecuaria, ya que con el modelo se busca explorar el comportamiento financiero de la actividad pecuaria bajo tecnologías silvopastoriles y el rol del pago por servicios ambientales en la misma. Por lo tanto, no se consideran los ingresos adicionales que se generarían por la producción forestal resultante de la incorporación de árboles en la finca. Resulta claro que, si se contabilizaran los ingresos forestales y se internalizara el resto de los beneficios ambientales y ecológicos provistos por los SSP, se incrementarían los indicadores financieros de la inversión, y se mejoraría aún más la opción de invertir en tecnologías SSP. Esta situación demuestra la necesidad de investigaciones adicionales para identificar, cuantificar y valorar los servicios ambientales provistos por los SSP, así como la importancia de considerar los beneficios ambientales y económicos adicionales (madera, leña, frutas) que los SSP generan en el momento de decidir políticas de desarrollo ganadero y de uso del suelo.

## AGRADECIMIENTOS

Este análisis fue financiado por el Fondo Ambiental Mundial (GEF-Banco Mundial) y el CATIE como parte de la elaboración del proyecto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas”. Los autores desean agradecer a las siguientes personas por su apoyo: P. Agostini, J. Botero, C. de Haas, M. Gómez, V. Holguín, M. Ibrahim, J. Mora, H. Segura, G. Solís, H. Steinfeld, y personal del Depto. de Agricultura y Agroforestería del CATIE. C. de Haas elaboró las proyecciones del hato ganadero. Los autores también desean agradecer los comentarios y sugerencias de los revisores y editores de la revista.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alonzo, YM. 2000. Potential of silvopastoral systems for economic dairy production in Cayo, Belize and constraints for their adoption. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.
- \_\_\_\_\_; Ibrahim, M; Gómez, M; Prins, K. 2001. Potencial y limitaciones para la adopción de sistemas silvopastoriles para la producción de leche en Cayo, Belice. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 24–27.
- Botero, J; Andrade, H; Ibrahim, M; Bouman, B; Camargo, C. 1999. Modelaje de opciones silvopastoriles sostenibles para el sistema ganadero de doble propósito en el trópico húmedo. *Agroforestería en las Américas* 6(23): 48–50.
- Brown, M. 1979. Farm budgets: from farm income analysis to agricultural project analysis. Baltimore, US, The World Bank. 142 p.
- Gittinger, P. 1982. Economic analysis of agricultural projects. Baltimore, US. The World Bank. 505 p.
- Holdridge, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA. 106 p.
- Ibrahim, M; Schlönvoigt, A; Camargo, C; Souxa, M. 2001. Multistrata silvopastoral systems for increasing productivity and conservation of natural resources in Central America. *In International Grassland Congress* (19, 2001, Brasil). Proceedings. Brasil. p. 645-649.
- Kanninen, M. 2001. Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: potencial para América Latina (en línea). Plataforma Electrónica sobre Ganadería y Medio Ambiente, LEAD-/FAO/CATIE. Disponible en <http://lead.virtualcentre.org/es/ele/conferencia3/articulo1.htm>.
- López, A; Schlovoigt, A; Ibrahim, M; Klein, C; Kanninen. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoral en la Zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6(23): 51–53.
- Murgueitio, E. 2000. Sistemas agroforestales para la producción ganadera en Colombia. *Pastos y Forrajes* 23(3): 235–250.
- Nair, PKR; Kang, B; Kaas, D. 1995. Nutrient cycling and soil erosion control in agroforestry systems. *In* Juo, A. ed. Agriculture and environment: bridging food production and environmental protection in developing countries. Madison, WI, US, American Society of Agronomy (ASA). p. 117–138. (ASA Special Publication no. 60).
- Naranjo, L. 2000. Sistemas agroforestales para la producción pecuaria y la conservación de la biodiversidad (en línea). Disponible en <http://lead.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vb-confe18.htm>.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles: módulo de enseñanza agroforestal No. 2. 2 ed. Turrialba, CR, CATIE. p. 3-79.
- Pomareda, C; Steinfeld, H. 2000. Intensificación de la ganadería en Centroamérica; beneficios económicos y ambientales. San José, CR, Nuestra Tierra Editorial, CATIE-FAO-SIDE. p. 334.
- Rhoades, C; Eckert, G; Coleman, D. 1998. Effect of pasture trees on soil nitrogen and organic matter: implications for tropical montane forest restoration. *Restoration Ecology* 6(3): 262-270.
- Steinfeld, H. 2000. Producción animal y medio ambiente en Centroamérica. *In* Pomareda, C; Steinfeld, H. eds. Intensificación de la ganadería en Centroamérica; beneficios económicos y ambientales. San José, CR, Nuestra Tierra Editorial, CATIE-FAO-SIDE. p. 17-32.

## Avances de investigación

# Conocimiento local de la cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica<sup>1</sup>

Diego Muñoz<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>3</sup>; Fergus L. Sinclair<sup>4</sup>; Jairo Mora<sup>3</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>3</sup>

**Palabras claves:** cercas vivas; forraje; leña; madera; postes; sistemas silvopastoriles; sombra arbórea.

### RESUMEN

Se recopiló el conocimiento de los ganaderos de Cañas y Río Frío (Costa Rica) acerca de la cobertura arbórea, sus especies y usos para comparar el acervo de conocimiento que poseen diferentes tipos de productores en zonas geográficas distintas. Los productores de ambas zonas conocen muy bien las especies arbóreas que utilizan, ya sea como madera, cercas vivas, leña, forrajes o sombra. Este conocimiento les permite usar y clasificar las especies de acuerdo con características físicas, biológicas y funcionales que empíricamente reconocen en ellas. No hubo diferencias entre localidades ni entre grupos de productores (ganaderos y mixtos) en cuanto al conocimiento sobre la cobertura arbórea y sus interacciones con el suelo, agua, pastos y animales. Los resultados sugieren que, a pesar de las diferencias geográficas, en ambos sitios la visión y percepción de la cobertura arbórea es amplia y similar.

**Local knowledge of tree cover in cattle production systems in two localities of Costa Rica**

**Key words:** Live fences; forage; firewood; posts; silvopastoral systems; timber; tree shade.

### ABSTRACT

The knowledge of cattle farmers about tree cover, its species and their use was compiled in Cañas and Río Frío (Costa Rica), and compared between different types of farmers and geographical zones. Farmers from both zones know the tree species they use for different purposes: timber, live fences, fodder and shade. This knowledge allows them to classify the trees according to physical and biological characteristics. There were no differences in knowledge between localities or groups of farmers (cattle and mixed farmers) in terms of tree cover and its interactions with soil, water, grass and animals. The results suggest that, despite geographical differences, in both localities the vision and perception regarding tree cover were similar.

## INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, la mayoría de las fincas ganaderas tienen árboles dispersos en potreros, cercas vivas y pequeños bosques o franjas de bosques riparios (Souza *et al.* 2000). Los productores manejan la cobertura arbórea para proveer sombra y forraje al ganado y obtener productos como frutos, madera, leña y postes. Basándose en este manejo, los productores han acumulado su propio conocimiento sobre las características de los árboles y sobre las interacciones que suceden entre éstos y el suelo, pastos y animales. Este conocimiento local podría ser de gran interés para proyectos agroforestales, puesto que permitiría mejorar el diseño agroforestal mediante estrategias culturalmente apropiadas.

La complejidad del conocimiento local sobre la cobertura arbórea puede variar entre los miembros de una comunidad y entre comunidades o zonas. Por ejemplo, los productores que han recibido capacitaciones o han accedido a cierto nivel de educación formal poseen una visión diferente de la de aquellos que nunca la obtuvieron (Jhonson 1992). Este bagaje de conocimiento local, que varía de una región a otra, puede ser decisivo para la planificación de estrategias de manejo adecuado de los recursos naturales de una región.

Este trabajo tuvo como objetivo identificar, sistematizar y comparar el conocimiento local sobre el uso y manejo

<sup>1</sup> Basado en Muñoz, D. 2004. Conocimiento local sobre cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Agroforestería Tropical, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: dmunoz@catie.ac.cr (autor para correspondencia).

<sup>3</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: charvey@catie.ac.cr; jmora@catie.ac.cr; mibrahim@catie.ac.cr

<sup>4</sup> Profesor investigador, Universidad de Gales, Bangor. Correo electrónico: f.l.sinclair@bangor.ac.uk

del componente arbóreo en fincas ganaderas de dos localidades de Costa Rica, para que sirva como herramienta en la toma de decisiones de futuros proyectos silvopastoriles.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del proyecto

El estudio se realizó en dos zonas contrastantes de Costa Rica: (i) Cañas, provincia de Guanacaste (10°11'N, 10°22'N y 84°15'O, 84°59'O; 20-80 msnm), se encuentra en el bosque seco tropical (Tosi 1988), presenta una precipitación media anual de 1544 mm y una temperatura promedio de 27 °C, y (ii) Río Frío, provincia de Heredia (10°20'N y 83°54'O; 100-150 msnm), bosque húmedo tropical (Tosi 1988), con una precipitación promedio anual de 4120 mm y una temperatura media de 27 °C.

### Características generales de las zonas

Cañas tiene una estructura agraria heterogénea, con fincas que van desde 10 hasta más de 1000 ha, dedicadas en su mayoría a la producción de ganado de carne. En esta zona, es común encontrar árboles en cercas vivas, árboles dispersos en pasturas, bosquetes y bosques riparios (Restrepo 2002). En Río Frío se encuentran fincas desde 1 hasta 30 ha, la mayoría dedicadas a la producción de ganado de leche. Los árboles dispersos en pasturas y pequeños reductos de bosques y las cercas vivas son comunes en esta zona (Villacis 2003).



Entrevista a productora sobre el conocimiento de la cobertura arbórea en su finca (Diego Muñoz).

### Recolección de la información

El estudio de conocimiento local se realizó mediante entrevistas a informantes claves, seleccionados de una muestra dirigida estratificada, de acuerdo con los sistemas de producción. En Cañas se diferenciaron dos estratos: finqueros ganaderos, dedicados solo a la producción de carne, y finqueros mixtos, productores de carne y cultivos. Río Frío se estratificó en finqueros lecheros (producción de leche), finqueros mixtos (ganadería y cultivos) y finqueros doble propósito (producción de carne y leche). En cada zona se seleccionó un total de 25 informantes claves, ganaderos de la región dispuestos a suministrar la información requerida. A cada informante se le aplicó una entrevista abierta sobre temas relacionados con la cobertura arbórea: características y usos de las especies, especies útiles para cercas vivas, leña, forraje e interacciones entre árboles, ganado y pastos.

Los datos recolectados fueron ordenados, jerarquizados y representados usando el programa AKT5 (Agroecological Knowledge Toolkit; Dixon *et al.* 2001), software basado en la desagregación en enunciados unitarios de la información textual recopilada en las entrevistas (Walker *et al.* 1995). El programa usa una sintaxis específica definida en una gramática especial (Walker y Sinclair 1998). El grupo de enunciados unitarios forma una base de conocimiento que se evalúa a través de diagramas y jerarquías (Kendon *et al.* 1995), resultando en una base de conocimientos con modelos creados por los informantes claves. Un total de 680 y 619 frases unitarias para Cañas y Río Frío, respectivamente, fueron insertadas en el programa AKT5, formando una base para cada sitio.

La validación de la información obtenida de los informantes se realizó mediante una encuesta semiestructurada a 50 finqueros escogidos al azar, de una lista de ganaderos de las zonas facilitada por el MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica) y de manera estratificada (finqueros ganaderos y finqueros mixtos). Las encuestas se elaboraron con 15 temas relevantes extraídos de las entrevistas, los cuales fueron recurrentes en cada zona de estudio. Los resultados de las encuestas se tabularon y analizaron con estadística descriptiva.

La información obtenida de los informantes y de la encuesta de validación se empleó para comparar el conocimiento entre productores y localidades. Esta comparación se efectuó a través de un análisis del nivel de complejidad de conocimiento de la cobertura arbórea y

sus interacciones con el suelo, agua, animales y pastos. Se comparó la cantidad de atributos que conocieron de las especies arbóreas y sus formas de clasificarlas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El conocimiento local recopilado se organiza alrededor de tres temáticas: (1) uso, características y atributos de las especies arbóreas; (2) clasificaciones del recurso arbóreo por parte de los ganaderos, y (3) interacciones de la cobertura arbórea con el ganado, pastos y suelo y sus implicaciones para el manejo de sistemas silvopastoriles.

### Usos y clasificaciones locales de las especies arbóreas en Cañas y Río Frío

Los usos principales de las especies arbóreas reportados por los ganaderos en las dos zonas estudiadas fueron cercas vivas, madera, postes muertos, leña y forraje. El análisis sugiere que, en ambas zonas, los ganaderos tienen un amplio conocimiento de las especies arbóreas, principalmente en aspectos relacionados con su uso. Sin embargo, también reconocen empíricamente atributos físicos, biológicos y fenológicos de las especies. Este conocimiento ha sido producto de su experiencia directa o de conocimientos heredados por tradición oral de sus ancestros.

Se recopiló la información que poseen los ganaderos sobre el uso y las características de 17 especies arbóreas para cercas vivas en Cañas y Río Frío, respectivamente. Sin embargo, el conocimiento más detallado se obtuvo únicamente para las especies más comunes en estos sistemas: jiñote (*Bursera simaruba*) y pochote (*Pachira quinata*) en Cañas, y poró (*Erythrina costaricensis*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) en Río Frío. Sobre estas especies, los ganaderos poseen un acervo de cono-

cimientos empíricos que les permite tomar decisiones para su manejo. Se reportaron conocimientos tales como aspectos fenológicos (p.ej. época de caída de hojas), requerimientos de suelo y resistencia al viento (Cuadro 1).

Las especies utilizadas en ambas zonas presentan rápido crecimiento y prendimiento y fácil adaptación a los suelos (Cuadro 1), características que las hacen ser preferidas por los productores. Estos resultados coinciden con los de otros estudios (Parrotta 1992, Kass 1994, Méndez y Soihet 1999), lo cual indica la validez de estos datos, producto de un contacto y experimentación directa de los productores.

Otro uso de los árboles es como postes muertos, el cual demanda un conocimiento más detallado de las características físicas de la madera. Los ganaderos de ambas zonas distinguen algunas características físicas de las especies relacionadas con la dureza y la porosidad. Así, establecen clasificaciones funcionales que les permiten identificar especies denominadas de “alta dureza”, como el quebracho (*Lysiloma divaricatum*) en Cañas y el manú negro en Río Frío (*Minquartia guianensis*), y especies denominadas “porosas”, como el jiñote (*B. simaruba*) en Cañas y el poró (*E. costaricensis*) en Río Frío. Los ganaderos de Cañas y Río Frío también conocen la durabilidad aproximada que tienen las especies arbóreas usadas en postes muertos (Cuadro 2).

Los conocimientos relacionados con el uso de especies arbóreas para extracción de leña fueron más evidentes en Cañas que en Río Frío. Los ganaderos de Cañas establecen relaciones entre la calidad de la leña y algunos atributos físicos de la madera, como porosidad, dureza y

**Cuadro 1.** Conocimiento local sobre las especies más usadas en cercas vivas de los ganaderos de Cañas y Río Frío, Costa Rica.

Característica	Cañas		Río Frío	
	<i>Bursera simaruba</i>	<i>Pachira quinata</i>	<i>Erythrina costaricensis</i>	<i>Gliricidia sepium</i>
Época de caída de hojas	Febrero a marzo	Febrero a marzo	Febrero	Enero y febrero
Exigencia en suelo	Se adapta a los diferentes tipos de suelo de la zona, pero en suelos húmedos aumenta su desarrollo	No es exigente en suelos	No es exigente en suelos	Es exigente en suelos, en particular, no se adapta a suelos muy húmedos
Resistencia al viento	Baja	Baja	Alta	Alta
Tasa de crecimiento	Rápido	Rápido	Rápido	Rápido
Forma de las raíces <sup>2</sup>	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Tiempo de prendimiento promedio	60 días	60 días	22 días	30 días

<sup>2</sup> Siembra por estacas.

textura. Ellos consideran que una madera porosa y de baja dureza (p. ej., *B. simaruba*) produce bastante humo y ceniza, clasificándola como de mala calidad. Por el contrario, los ganaderos atribuyen “porosidad baja” y “dureza alta” a especies como el nance (*Byrsonima crassifolia*) y el higuero (*Ficus* sp.), considerándolas de alta calidad. Un indicador de esta alta calidad desde la percepción local es que la madera no produzca humo ni ceniza y, además, que su combustión sea duradera. En contraste, en Río Frío los ganaderos únicamente decidie-

ron la calidad de la leña en función de la dureza de la madera, posiblemente porque raramente utilizan leña.

En ambos sitios, se identificaron criterios locales de clasificación de las maderas con base en sus propiedades físicas (Cuadro 3). Aunque los ganaderos no manejan criterios científico-técnicos para establecer estas clasificaciones, no se puede desconocer que poseen un conocimiento sistemático que les ha permitido tomar decisiones en la selección de especies para los diferentes usos.

**Cuadro 2.** Conocimiento local sobre especies usadas para postes muertos de los ganaderos de Cañas y Río Frío, Costa Rica.

Sitio	Especies utilizadas		Dureza <sup>2</sup>	Duración estimada (años)	Informantes que mencionaron la especie n = 25
	Nombre común	Nombre científico			
Río Frío	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Alta	< 1	8
	Gavilán	<i>Pentaclethra macroloba</i>	Alta	6 - 7	16
	Almendro	<i>Dipteryx panamensis</i>	Alta	15	15
	Manú negro	<i>Minquartia guianensis</i>	Alta	>50	20
	Pilón	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Baja	5 - 6	10
Cañas	Tempisque	<i>Mastichodendron capiri</i>	Alta	5	8
	Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	Alta	10	18
	Mora	<i>Maclura tinctoria</i>	Alta	10	16
	Guachipelín	<i>Diphysa robinoides</i>	Alta	15	23
	Quebracho	<i>Lysiloma divaricatum</i>	Alta	20	24
	Laurel	<i>C. alliodora</i>	Baja	2 - 3	22
	Níspero	<i>Manilkara zapota</i>	Baja	6 - 7	9

<sup>2</sup>Los ganaderos determinan la dureza como el tiempo aproximado de duración de los postes: alta >10 años y baja <10 años.

**Cuadro 3.** Clasificación de las maderas en función de propiedades físicas establecidas por los ganaderos de Cañas y Río Frío, Costa Rica.

Nombre común	Nombre científico	Clasificación de la madera	
		Cañas	Río Frío
Almendro	<i>Dipteryx panamensis</i>	Fina	Suave
Balso	<i>Ochroma lagopus</i>	Suave	Suave
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Fina	Fina
Ceiba	<i>Pseudobombax septenatum</i>		Suave
Cenízaro	<i>Samanea saman</i>	Fina	
Fruta dorada	<i>Virola koschny</i>		Suave
Gavilán	<i>Pentaclethra macroloba</i>		Dura
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Suave	
Guachipelín	<i>Diphysa robinoides</i>	Dura	
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fina	
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	Liviana	
Manú negro	<i>Minquartia guianensis</i>		Rústica
Mora	<i>Chlorophora tinctoria</i>	Dura	
Níspero	<i>Manilkara zapota</i>	Maciza	
Pochote	<i>Pachira quinata</i>	Dura	
Quebracho	<i>Dipterodendron costaricense</i>	Dura	
Surá	<i>Terminalia oblonga</i>		Fina

Fina: permite buenos acabados; suave: fácil de trabajar y de baja resistencia; dura: difícil de trabajar y de alta resistencia; liviana: de baja densidad; maciza: de alta densidad; rústica: no permite buenos acabados.

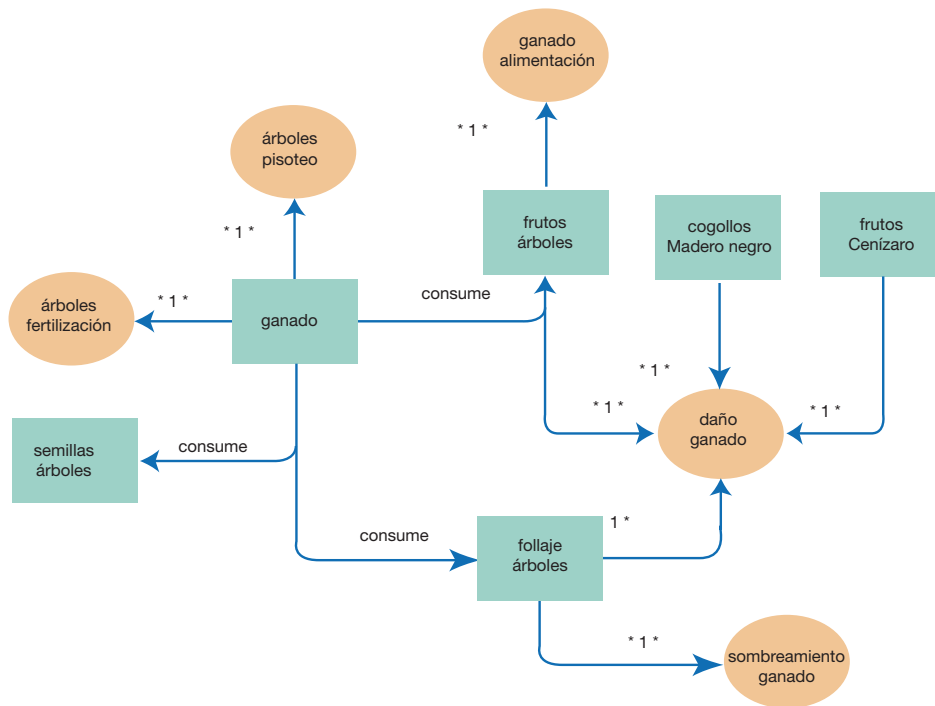
### Interacciones entre componentes de los sistemas

Los ganaderos tienen su propia percepción acerca de las interacciones entre los componentes: árboles, ganado, pastos y suelo. En ambas localidades, se considera que las principales interacciones entre los árboles y el ganado son la sombra, frutos y forraje que los árboles suministran al ganado (Figura 1). El ganado consume frutos, semillas y follaje de árboles, existiendo algunos frutos que son muy nutritivos y otros nocivos, como el cenízaro (*Samanea saman*). El ganado también ejerce algunos efectos positivos (fertilización) y negativos (pisoteo) sobre los árboles (Figura 1).

Los ganaderos de ambas zonas manejan criterios de clasificación del efecto de sombra de los árboles. Ellos denominan árboles de “sombras frescas” aquellas especies que producen un ambiente fresco bajo la copa, y “sombras malas” aquellos que no dejan crecer vegetación bajo el dosel y producen efectos nocivos en los animales y personas. Las “sombras frescas” de algunos árboles son consideradas “sombras malas” cuando los niveles de “frescura” son demasiado elevados, evitando que crezca el pasto y causando enfermedades en personas y ani-

males cuando éstos se sombreaman estando acalorados. En Cañas se reportaron 16 especies de sombras frescas y siete de sombras malas, mientras que en Río Frío 28 especies fueron de sombras frescas y 16 de sombras malas (Cuadro 4).

El conocimiento sobre frutos de especies arbóreas que consume el ganado es otro tema relevante en las prácticas locales de ambas zonas. Ejemplos de estos frutos son el cenízaro y el guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) en Cañas, y la guayaba (*Psidium guajava*) y la naranja (*Citrus* sp.) en Río Frío. Los finqueros clasificaron estos frutos en una escala de los más consumidos a los poco consumidos (Cuadro 5) y argumentaron las razones por las cuales creen que el ganado apetece ciertos frutos y forrajes. Algunas de las cualidades de palatabilidad de los frutos atribuidas por los lugareños están relacionadas con “el sabor dulce”; otra cualidad es “el alto contenido nutricional”. Un estudio realizado en Colombia señala los efectos positivos del consumo de frutos de *Pithecellobium saman*, ya que mejora la eficiencia de utilización de los nutrientes y la respuesta animal (Navas *et al.* 1999).



**Figura 1.** Gráfico generado en AKT5 que muestra el conocimiento de los ganaderos de Cañas sobre las interacciones que suceden entre los árboles y el ganado. Los cuadros verdes representan enlaces de conocimiento simples (*links*); los óvalos amarillos indican procesos naturales; las flechas y los números indican el sentido de determinación entre los conceptos.



**Cuadro 4.** Árboles de sombras frescas y malas conocidas por los ganaderos de Cañas (C) y Río Frío (RF), Costa Rica.

Especies	Nombre científico	Tipo de sombra	
		Frescas	Malas
Aguacate	<i>Persea americana</i>	RF	
Almendro	<i>Andira inermis</i>	C	C
Almendro de monte	<i>Dipteryx panamensis</i>	RF	RF
Caimito	<i>Chrysophyllum caimito</i>	RF	
Canelo	<i>Ocotea veraguensis</i>	C	
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>	RF	
Castaño	<i>Pseudobombax septenatum</i>	RF	
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	RF	
Ceiba	<i>Pseudobombax septenatum</i>	RF	
Cenízaro	<i>Samanea saman</i>	C	
Ciprés	<i>Cupressus</i> spp.		RF
Corpachi	<i>Croton shiideanus</i>	RF	
Chilamate	<i>Poulsenia armata</i>	RF, C	C
Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>	C	
Gavilán	<i>Pentaclethra macroloba</i>	RF	RF
Guaba	<i>Inga spectabilis</i>	RF	RF
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	C	C
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	C	
Guaniquil	<i>Aspidosperma excelsum</i>	RF	
Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	C	
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	RF	RF
Higuerón	<i>Ficus</i> spp.	RF, C	RF, C
Jabillo	<i>Hura crepitans</i>	RF	RF
Jocote	<i>Spondias purpurea</i>	C	
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	RF	RF
Laurel de la India	<i>Ficus</i> spp.	RF, C	
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>		C
Mamón chino	<i>Nephelium ramboutan</i>		RF
Mango	<i>Mangifera indica</i>	C	C
Manzana de agua	<i>Syzygium malaccense</i>	RF	
Manzanillo	<i>Hippomane mancinella</i>		RF
Nance	<i>Byrsonima crassifolia</i>	C	C
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>		RF
Ojoche	<i>Brosimum lactescens</i>		RF
Paleta	<i>Dussia</i> spp.		RF
Papaturro	<i>Coccoloba floribundum</i>	C	C
Pocora	<i>Guarea rhopalocarpa</i>	RF	
Poró	<i>Erythrina costaricensis</i>	RF	RF
Sota caballo	<i>Zygia longifolia</i>	RF	RF
Tamarindo	<i>Dialium guianense</i>		RF
Zapote	<i>Pouteria viridis</i>	RF	

La única diferencia fue que los ganaderos de Río Frío mencionaron algunos conocimientos que no tienen los de Cañas, tales como el reconocimiento de especies leguminosas como fijadoras de nitrógeno (poró y madero negro). Posiblemente, el uso de estos conceptos dentro del lenguaje local es el resultado de frecuentes interacciones con agentes de extensión. Igualmente, los ganaderos de Río Frío mencionaron relaciones entre la presencia de árboles de gavilán (*Pentaclethra macroloba*) y

“efectos de salinización” o de “acidez” en el suelo; sin embargo, tales creencias constituyen una muestra de que la incorporación de conceptos técnicos a la racionalidad local pueden también conducir a percepciones erróneas. En términos generales, la presencia de tales conceptos, juicios y enunciados dentro del lenguaje local constituye un indicio de que los ganaderos de Río Frío han tenido más contacto con entidades de extensión rural que los ganaderos de Cañas.

**Cuadro 5.** Conocimiento local sobre las categorías de clasificación de los frutos consumidos por el ganado en Cañas y Río Frío, Costa Rica.

Nivel de consumo	Localidad	Nombre común	Nombre científico
Altamente consumidos	Cañas	Guanacaste Guácimo Cenízaro Mango	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> <i>Guazuma ulmifolia</i> <i>Samanea saman</i> <i>Mangifera indica</i>
	Río Frío	Naranja Guayaba Limón	<i>Citrus</i> spp. <i>Psidium guajava</i> <i>Citrus</i> spp.
Medianamente consumidos	Cañas	Naranja Coyol Ojoche Nance	<i>Citrus</i> spp. <i>Acrocomia vinifera</i> <i>Brosimum alicastrum</i> <i>Byrsonima crassifolia</i>
	Río Frío	Castaño Mango Cas	<i>Bertholletia excelsa</i> <i>M. indica</i> <i>Psidium friedrichsthalianum</i>
Poco consumidos	Cañas	Jocote Jobo Limón	<i>Spondias purpurea</i> <i>Spondias</i> sp. <i>Citrus</i> sp.
	Río Frío	Manzana de agua Mandarina Ojoche	<i>Syzygium malaccense</i> <i>Citrus reticulata</i> <i>B. lactescens</i>



Durante la época seca en Cañas, el ganado se protege de las altas temperaturas del día bajo la sombra de los árboles (Diego Muñoz).

## CONCLUSIONES

Los ganaderos de Cañas y Río Frío tienen un conocimiento detallado de las especies arbóreas que más utilizan en sus actividades cotidianas, reconociendo atributos físicos, biológicos, fenológicos y usos de las especies arbóreas, producto de su experiencia y de conocimientos adquiridos y heredados. Las características de las especies que consideran útiles para leña, madera y postes son las más conocidas. Además, ellos identifican interacciones positivas y negativas entre la cobertura arbórea y los componentes de la finca, lo cual les ha permitido manejarlas exitosamente dentro de sus sistemas de producción. Estos aspectos generalmente no son conocidos por los técnicos; por ejemplo, la clasificación de los árboles en función de la sombra no se había reportado en Costa Rica; sin embargo, para los ganaderos de Cañas y Río Frío esta clasificación desempeña un papel importante en el manejo y la selección de especies.

El conocimiento local de la cobertura arbórea recopilado en este trabajo puede ser muy importante para la planificación de programas silvopastoriles o agroforestales en estas zonas. Las preferencias de los ganaderos por ciertas especies arbóreas debido a atributos como la rapidez de prendimiento y desarrollo y la clasificación en función de la sombra pueden ser aspectos importantes para la selección de especies en programas silvopastoriles.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada como parte del proyecto FRAGMENT “Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes” (INCO-DEV ICA4-CT-2001-10099), financiado por el European Community Fifth Framework Programme. Los autores son los únicos responsables por el material reportado en este trabajo; esta publicación no representa

la opinión de la Comunidad y la misma no es responsable por el uso que se le da a la información que aquí aparece.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Dixon, HJ; Doores, JW; Joshi, L; Sinclair, FL. 2001. Agroforestry knowledge toolkit for windows for AKT5. Bangor, School of Agriculture and Forest Sciences, University of Wales. 171 p.
- Jhonson, M. 1992. Reconociendo el valor del conocimiento tradicional. Ottawa, CA, IDRC. 190 p.
- Kass, DCL. 1994. *Erythrina* species— pantropical multipurpose tree legumes. In Gutteridge, RC; Shelton, HM. eds. Forage tree legumes in tropical agriculture. Wallingford, UK, CAB International. p. 84-96.
- Kendon, G; Walker, DH; Robertson, D; Haggith, M; Sinclair, FL; Muetzelfeldt, RI. 1995. Supporting customized reasoning in the agroforestry domain. The New Review of Applied Expert Systems 1: 179-193.
- Méndez, J; Soihet, C. 1999. Notas técnicas sobre manejo de semillas forestales. Turrialba, CR, CATIE. 2 p. (Serie Técnica no. 56).
- Navas, A; Restrepo, C; Jiménez, G. 1999. Funcionamiento ruminal de animales suplementados con frutos de *Pithecellobium saman*. In Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Aostenible FAO-CIPAV (1, 1999). Ed. H. Osorio. Cali, CO. 1 disco compacto. *También en:* <http://www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/Navas.htm>.
- Parrotta, A. 1992. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. Gliricidia, mother of cocoa. SO-ITFSM-50. New Orleans, US, Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 7 p.
- Restrepo, C. 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Tosi, JA. 1988. Mapa de las zonas de vida de Costa Rica. San José, CR, Centro Científico Tropical. 1:200 000.
- Villacís, J. 2003. Relaciones entre la cobertura arborea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Rio Frio, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 129 p.
- Walker, DH; Sinclair, FL. 1998. Acquiring qualitative knowledge about complex agroecosystems: Part I. Representation as natural language. Agricultural Systems 56: 341-363.
- \_\_\_\_\_; Sinclair, FL; Kendon, G. 1995. A knowledge-based systems approach to agroforestry research and extension. AI Applications 9: 61-72.

# Decisiones claves que influyen sobre la cobertura arbórea en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica

Cristóbal Villanueva<sup>1</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>2</sup>; Fergus L. Sinclair<sup>3</sup>; Diego Muñoz<sup>1</sup>

**Palabras claves:** aprovechamiento de árboles en pasturas; control de malezas; manejo de cercas vivas; modelos de decisión; simulación.

## RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo con el propósito de identificar las principales decisiones que afectan la cobertura arbórea presente en fincas ganaderas, así como para conocer los factores vinculados con estas decisiones. Las decisiones fueron modeladas usando datos reales (de campo) y simulaciones con el programa Netica 1.12. Las decisiones más importantes de los productores fueron control de malezas (practicado con 95% de probabilidades), aprovechamiento de árboles (43%), poda de árboles en cercas vivas (65%) y plantación de postes vivos en cercas (35%). Los factores vinculados al control de malezas fueron la disponibilidad de capital y la abundancia de malezas. El aprovechamiento de árboles fue afectado por la necesidad de productos arbóreos (madera y/o postes), mano de obra y disponibilidad de capital. La poda de árboles en cercas vivas estuvo asociada a factores como desarrollo de copa y disponibilidad de capital y la plantación de postes vivos en cercas fue afectada por la demanda de postes durante el año y la disponibilidad de mano de obra de la finca.

**Key decisions affecting tree cover in cattle farms in Cañas, Costa Rica**

**Key words:** Tree harvesting in pastures; weed control; live fence management; decision models; simulation.

## ABSTRACT

This study was carried out to identify the main decisions affecting changes in tree cover in cattle farms and the factors that determine these decisions. The decisions were modeled in Netica 1.12, using field data and simulations. The most important decisions that influence on-farm tree cover include weed control (practiced with a 95% probability), tree harvesting (43%), live fence pollarding (65%) and planting of new live fences (35%). The factors affecting weed control were capital availability and weed population. Tree harvesting was affected by the demand for tree products (wood and posts), availability of labour and availability of capital. Live fence pollarding was associated with capital availability and tree crown size. The planting of live posts was related to the demand for new fences and the availability of labor.

## INTRODUCCIÓN

En Centroamérica, la agricultura abarca el 45% de la superficie total, de la cual las pasturas representan el 28%; esto hace que la ganadería sea considerada como la actividad de mayor importancia desde el punto de vista de uso de la tierra (FAO 2004). En este paisaje ganadero, es típico encontrar bajas densidades de árboles en potreros, una composición florística dominada por pocas especies y considerables variaciones entre sitios. Por ejemplo, algunos estudios en el trópico seco de Costa Rica y Nicaragua han mostrado una densidad de ár-

boles dispersos en potreros de 8 y 17 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente, con el 70% de la población representada por 10 especies, mantenidas por los productores gracias a los productos que brindan. Estas fincas también contienen muchos árboles en cercas vivas, con densidades que varían entre 51 y 220 árboles km<sup>-1</sup> (Villanueva *et al.* 2004).

Estudios de conocimiento local revelan que los finqueros toman decisiones que afectan negativamente la co-

<sup>1</sup> Investigadores del Proyecto FRAGMENT, CATIE. Correos electrónicos: cvillanu@catie.ac.cr (autor para correspondencia), dmunoz@catie.ac.cr

<sup>2</sup> Profesores investigadores, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: mibrahim@catie.ac.cr, charvey@catie.ac.cr

<sup>3</sup> Universidad de Gales, Bangor. Correo electrónico: f.l.Sinclair@bangor.ac.uk



Árboles en un paisaje de Rivas, Nicaragua (FRAGMENT 2004).

bertura arbórea, como el control de malezas (que resulta en una reducción en la regeneración natural de árboles en los potreros), aprovechamiento de árboles para madera y/o postes, y la poda de cercas vivas. Es más, los finqueros aceptan que la fuerte presión hacia el recurso arbóreo ha derivado en la extinción de especies nativas valiosas. En contraste, también practican actividades que afectan positivamente la cobertura arbórea, como la siembra de postes vivos en cercas o el establecimiento de plantaciones forestales (Muñoz 2003).

Las decisiones del manejo de la cobertura vegetal varían de un sitio a otro, según las condiciones climáticas, socioeconómicas y culturales y los sistemas de producción. En este sentido, Deffontaines *et al.* (1995) señalan que las condiciones físicas del ambiente inciden en la toma de decisiones de los finqueros respecto a la adaptación de los tipos de usos del suelo y actividades técnicas dentro de las fincas. Igualmente, el cambio de uso del suelo puede ser determinado por factores como el régimen de tenencia de la tierra, el crecimiento de la población, la apertura de carreteras, ingresos, créditos, subsidios, concesiones de tierras y leyes de conservación y uso de suelos y bosque (Place y Otsuka 2000, Kaimowitz 2001).

El objetivo de este estudio fue evaluar de qué manera las decisiones claves de los productores influyen en los

cambios de la cobertura arbórea presente en fincas ganaderas —ya sea para aumentarla o reducirla— en Cañas, Costa Rica, así como conocer los factores vinculados con estas decisiones. Las decisiones fueron exploradas por medio de modelos, basados en datos recolectados en campo, que permiten identificar cuáles factores ejercen un impacto mayor en cada decisión, a partir de simulaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características generales de la zona

Este estudio fue conducido de julio de 2002 a junio de 2003 en Cañas y Abangares, Guanacaste, Costa Rica. El área de influencia fueron 10000 ha seleccionadas por el proyecto FRAGMENT, conducido por el CATIE, localizadas a 10°19,2'N y 85°4,8'O, 80-250 msnm. La zona de vida corresponde a Bosque Tropical Seco (Holdridge 1978); la temperatura media anual es de 27,6 °C y la precipitación media de 1544 mm año<sup>-1</sup>, concentrada entre junio y octubre. Los sistemas de producción prevalentes en la zona corresponden a ganado de carne (64%), mixto (ganadería + agricultura, 21%) y doble propósito (leche + carne). El tamaño promedio de las fincas es de 158 ha, en las cuales los usos del suelo están representados por pasturas (76%), cultivos (7%), bosque fragmentado seco (6%) y bosque ripario (5%) (Villanueva *et al.* 2004).

### Selección de fincas

Del grupo de fincas ganaderas encuestadas por el proyecto FRAGMENT ( $n = 53$ ), 15 fueron seleccionadas para el estudio de toma de decisiones, pertenecientes a los grupos de carne y mixtas, que son los más importantes en la zona de estudio (Villanueva *et al.* 2004). Las fincas de carne fueron subdivididas según el tamaño para obtener grupos más homogéneos (Cuadro 1). La elección de fincas en cada grupo se realizó con base en los siguientes criterios: que la ganadería fuera la actividad más importante en el uso de la tierra, accesibilidad a la finca y anuencia del propietario para brindar información durante 12 meses.

**Cuadro 1.** Distribución de las fincas seleccionadas para monitoreo de toma de decisiones, según sistema de producción prevaleciente en la zona de Cañas, Costa Rica.

Grupo de fincas	Tamaño de finca (ha) <sup>z</sup>	Número de fincas
Carne pequeñas	23 (18 – 32)	4
Carne medianas	78 (62 – 85)	4
Carne grandes	163 (94 – 241)	4
Mixtas	26 (23 – 31)	3

<sup>z</sup> valores fuera y dentro de paréntesis corresponden a la media y los rangos, respectivamente.

### Recolección de la información

Las fincas seleccionadas fueron visitadas durante 12 meses, con una frecuencia de una vez por mes, con el propósito de recoger información sobre las decisiones de los productores que afectan la cobertura arbórea. La información fue obtenida por medio de una encuesta semiestructurada, la cual consideró aspectos tales como los productos generados por la finca, el manejo de pasturas (control de malezas, fertilización, prácticas para retener árboles de la regeneración natural o siembra), manejo de cercas vivas (podas, siembras y aprovechamiento de individuos), actividades en bosques, bosques riparios y charrales (raleos, aprovechamiento, eliminación y protección de individuos) y actividades en áreas de cultivos (siembra de árboles, eliminación de árboles y rotación de cultivos a pasturas). Además de los datos brindados por el propietario o administrador, se recorrió la finca para verificar y ajustar la información.

Al finalizar las primeras dos visitas mensuales a las fincas, se identificaron las decisiones claves que influyen en los cambios de la cobertura arbórea. Estas incluyen el control de malezas, el aprovechamiento de árboles, la poda de cercas vivas y la plantación de postes vivos en las cercas. Por lo tanto, en los siguientes 10 meses del es-

tudio, se añadieron al formato original de la encuesta temas relacionados con los factores o variables biofísicas, socioeconómicas, culturales y de mano de obra asociadas a las decisiones claves citadas anteriormente.

### Generación de diagramas de decisión

Con la información obtenida por medio de las entrevistas a los finqueros y las observaciones de campo se diseñaron modelos generales de decisión para cada uno de los eventos, ya que todas las fincas consideradas en el estudio mostraron una ruta similar en la toma de decisiones. El modelo de decisión general para cada uno de los eventos se desarrolló con el programa Netica 1.12 (Norsys 1998). Este programa genera una red compuesta de todos los factores o variables (llamados *nodos naturales*) que influyen en la toma de la decisión para llevar a cabo el evento en referencia (probabilidad del evento localizado en el nodo principal). Cada nodo presenta divisiones llamadas *estados*; por ejemplo, el nodo “disponibilidad de capital” presentó los estados alto y bajo. Los valores de cada estado están dados en probabilidades (0 a 100%), las cuales provienen de las frecuencias relativas de las respuestas emitidas por los productores. Cada decisión o evento estuvieron compuestos de uno o varios nodos principales o primarios y secundarios. Los principales constituyeron la decisión de realizar el evento y los secundarios fueron los factores o variables que estuvieron afectando el nodo principal.

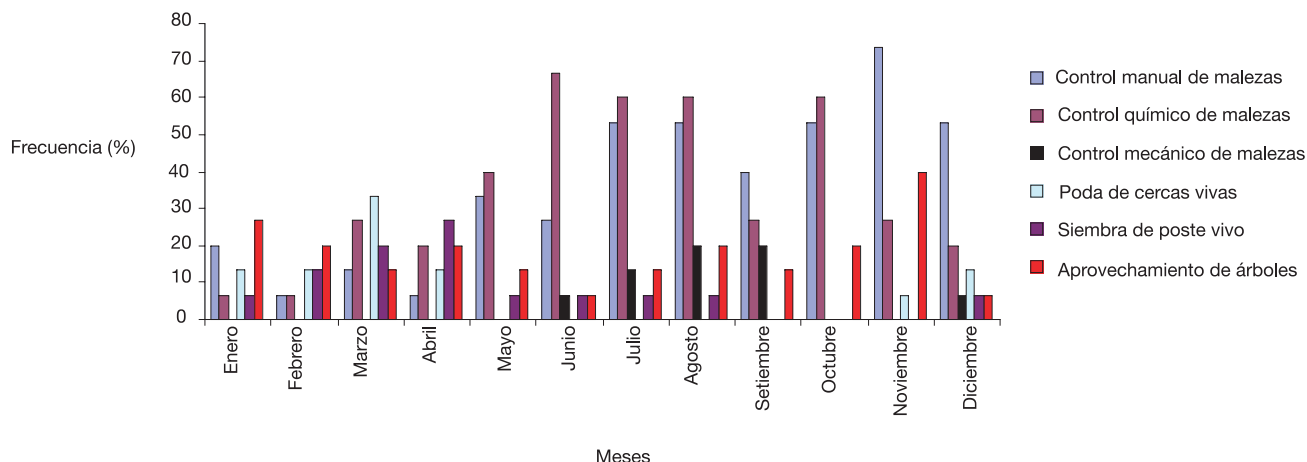
### Simulación de escenarios

Con la información de campo ingresada en el modelo de decisión de Netica (modelo base) para cada uno de los eventos, se procedió a simular escenarios cambiando el valor de la probabilidad del estado de un factor o de varios factores, para así identificar los factores de mayor importancia en la toma de decisiones de los productores. Este ejercicio implicó el cambio de la probabilidad del estado de un factor a un valor alto (100%) o al extremo bajo (0%), así como también combinando dos o más factores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Frecuencia de los eventos que afectan la cobertura arbórea en fincas ganaderas

Los eventos que cambian la cobertura arbórea variaron entre fincas (Figura 1); el control de malezas (manual y químico) fue ejecutado por el 87% de las fincas y el control mecánico por el 27% de ellas durante el período de estudio, principalmente entre los meses de mayo y diciembre (época lluviosa). En esta lapso, la mayoría de



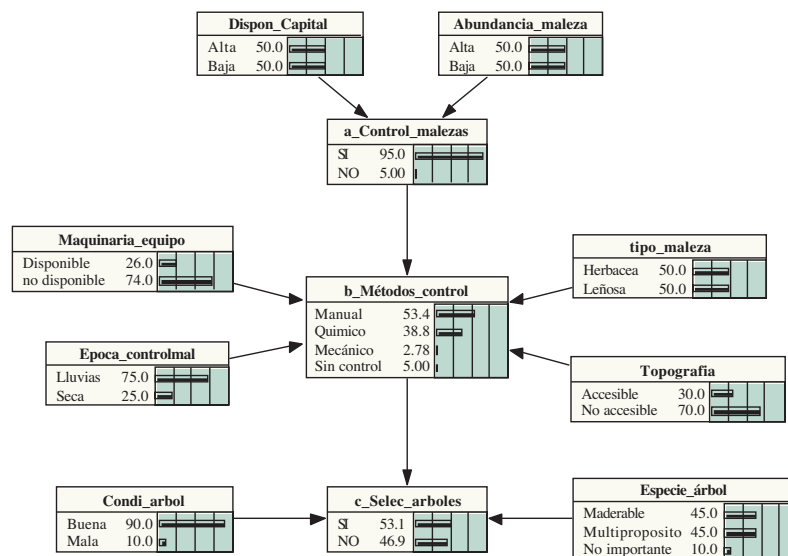
**Figura 1.** Frecuencia de fincas que practicaron los eventos que afectan la cobertura arbórea durante un año de monitoreo mensual ( $n = 15$  fincas).

las fincas utilizaron los métodos manual y químico (73 y 67%, respectivamente). La poda de árboles y la plantación de poste vivo en cercas fue llevado a cabo por el 60% de las fincas, principalmente en los meses de febrero, marzo y abril (época seca). El aprovechamiento de árboles fue realizado a lo largo del año por el 87% de las fincas estudiadas.

### Control de malezas

El control de malezas en pasturas comprendió las decisiones: (1) necesidad de control de malezas; (2) cuál método de control de malezas utilizar, y (3) la selección de

árboles (plántulas o brinzales) mientras se realiza el control de malezas (Figura 2). Hubo una probabilidad del 95% de que se llevara a cabo control de malezas, influenciada por los factores disponibilidad de capital (en efectivo) y abundancia de malezas. Sin embargo, como en la zona el control de malezas es una actividad constante y necesaria cada año, la disponibilidad de capital no ejerció un efecto considerable en la decisión (en casos de baja disponibilidad, los productores recurren a créditos informales). Los finqueros catalogan el control de malezas como imprescindible, ya que su ausencia repercute en la persistencia de la pastura (especialmente



**Figura 2.** Diagrama de decisiones de control de malezas en pasturas en fincas ganaderas ( $n = 15$ ). Cañas, Costa Rica. Los nodos de decisión principales son: a) control de malezas; b) métodos de control, y c) selección de árboles (plántulas o brinzales) en el momento de controlar las malezas. Las demás cajas representan variables que afectan cada una de estas decisiones.

en pastos introducidos) y, consecuentemente, en la productividad animal. Por tal razón, es una actividad realizada anualmente dentro del manejo de pasturas, a pesar de los daños colaterales para la regeneración natural de futuros árboles (en cantidad y calidad) dispersos en ellas.

La probabilidad de utilizar los métodos de control de malezas manual, químico y mecánico fue de 53,4; 38,8 y 2,78, respectivamente. Los factores que inciden en la elección del método son la época del año, el tipo de maleza, la disponibilidad de maquinaria y equipo y la topografía del terreno. El método manual se realiza durante todo el año, pero la mayoría de las fincas prefiere llevarlo a cabo durante la época lluviosa (Figura 1), porque comprende los meses de mayor crecimiento de malezas; este método es utilizado principalmente para controlar malezas leñosas resistentes al uso de herbicidas. El control manual suele ser localizado, ya que las plantas leñosas (individuales o en grupo) se encuentran dispersas en las pasturas.

El método químico se utiliza generalmente para controlar malezas herbáceas, y se aplica más durante el período de lluvias (junio a octubre), lo cual está relacionado con una gran proliferación de especies de plantas indeseables para los ganaderos en las pasturas y la alta efectividad de los herbicidas en ese momento. En los demás meses del año su aplicación, además de ser menor, es dirigida a especies (herbáceas o leñosas) que escaparon al tratamiento inicial (químico), como por ejemplo coyol (*Acrocomia aculeata*), nance (*Byrsonima crassifolia*), zarza y dormilona (*Mimosa* spp.) y cornizuelo (*Acacia* spp.). El tratamiento es aplicado con maquinaria y equipo (tractor y equipo de fumigación) en fincas donde la tipografía es plana (accesible), que tengan acceso a dichos instrumentos (propios o alquilados); también se usa equipo manual (bombas de espalda) en fincas con topografía inaccesible a la maquinaria o que no cuentan con maquinaria y equipo. Los herbicidas utilizados son selectivos para pasturas, tales como picloram + 2,4-D (aplicación generalizada para controlar herbáceas y algunas leñosas), 2,4-D amina (aplicación generalizada contra herbáceas) y picloram + fluroxipir (aplicación localizada contra leñosas y herbáceas de difícil control).

El uso de herbicidas podría ser una de las causas principales de la poca regeneración natural en potreros, la cual ha dado lugar a una baja tasa de reemplazo de individuos adultos, con la consecuente disminución de la densidad de árboles en potrero. Por ejemplo, en Cañas,

Costa Rica, donde las pasturas están sujetas a la aplicación de herbicidas, los potreros tienen pocos árboles pequeños (con diámetros menores a 30 cm); en cambio en Rivas, Nicaragua, donde el control de malezas es dominado por chapeas (método manual), hay una mayor regeneración natural en los potreros (Villanueva *et al.* 2004).

La mayoría de los productores entrevistados (53%) protegen los árboles jóvenes cuando se realiza el control de malezas. Los factores claves que inciden en la decisión de retener árboles son el tipo de método de control de malezas, la condición del árbol (forma y salud) y la especie arbórea. Cuando el método de control de malezas es químico (aplicación general) o mecánico, no se seleccionan árboles, ya que ocurre una eliminación total de los primeros estados de la vegetación (plántulas y brinzales). En el caso de los métodos manual y químico (aplicación localizada), es posible seleccionar individuos que estén en buena condición (rectos, vigorosos y sanos) y que sean especies con fines maderables o multipropósito (madera, leña, postes, alimento para ganado, etc). Generalmente, las especies en mala condición y sin utilidad se eliminan, excepto en casos donde no existen las especies de interés.

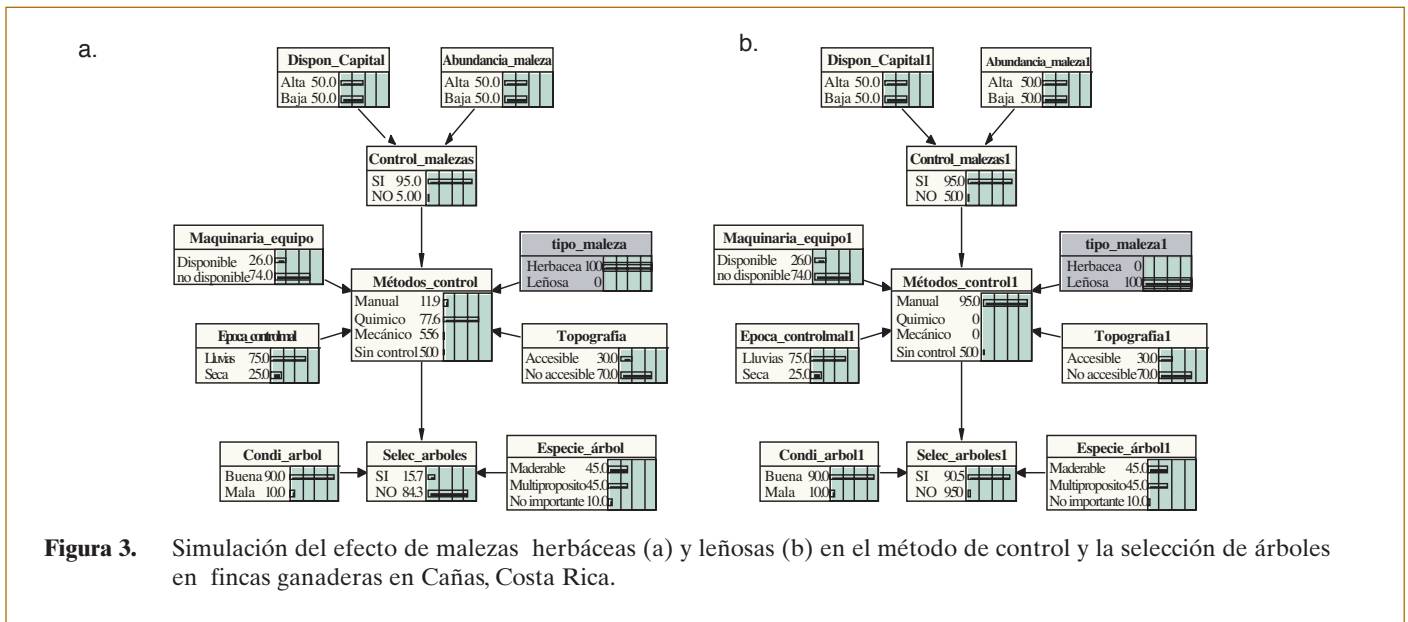
#### *Simulación de modelos de decisión*

Explorando los factores mediante simulación, se encontró que el tipo de maleza existente en las pasturas determinó el mayor cambio en el método de control de malezas utilizado, y este, a su vez, sobre la selección de árboles (retención de la regeneración natural). En pasturas dominadas por malezas herbáceas, el uso de herbicidas es generalizado (77,6%), situación que reduce la probabilidad (15%) de selección de individuos de especies arbóreas. Por otro lado, cuando la maleza dominante fue leñosa (probabilidad del 100%), el método de control fue manual (95%), permitiendo una selección de árboles con una probabilidad del 90,5% (Figura 3).

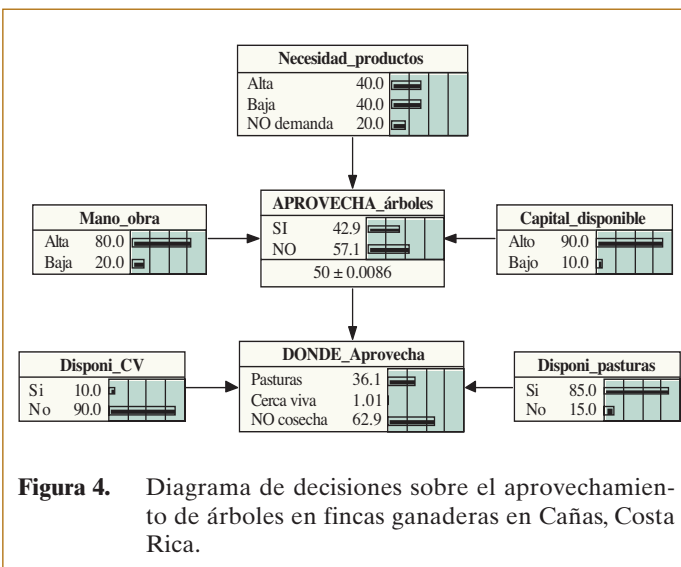
#### **Aprovechamiento de árboles**

Esta actividad es realizada en la mayoría de las fincas para cubrir las necesidades de madera y postes para la reparación y construcción de instalaciones y cercas. En esta actividad, las principales decisiones identificadas fueron el aprovechamiento de árboles y dónde llevarlo a cabo (Figura 4). El aprovechamiento de árboles mostró una probabilidad del 42,9%, influenciada por la disponibilidad de mano de obra y capital y la necesidad de productos (madera y/o postes). Generalmente, los productores aprovechan árboles de las pasturas (probabili-





dad de 36,1%) y, solamente pocas veces, de las cercas vivas (1% de probabilidad). No se aprovechan árboles en el bosque y bosque ripario, excepto cuando estos son derribados por el viento. Las pasturas son los sitios con mayor disponibilidad de individuos maderables con potencial para aprovechamiento. Estudios de los árboles dispersos en estas fincas muestran que un 48% de los individuos en potrero presentaron un diámetro a la altura del pecho mayor a los 40 cm, y que abundan especies maderables como roble (*Tabebuia rosea*), laurel (*Cordia alliodora*) y corteza amarilla (*Tabebuia ochracea*); en cambio, en las cercas vivas solamente el 18% de la población de árboles tiene diámetros grandes y la mayoría de las especies no son aptas para madera (Villanueva *et al.* 2004).



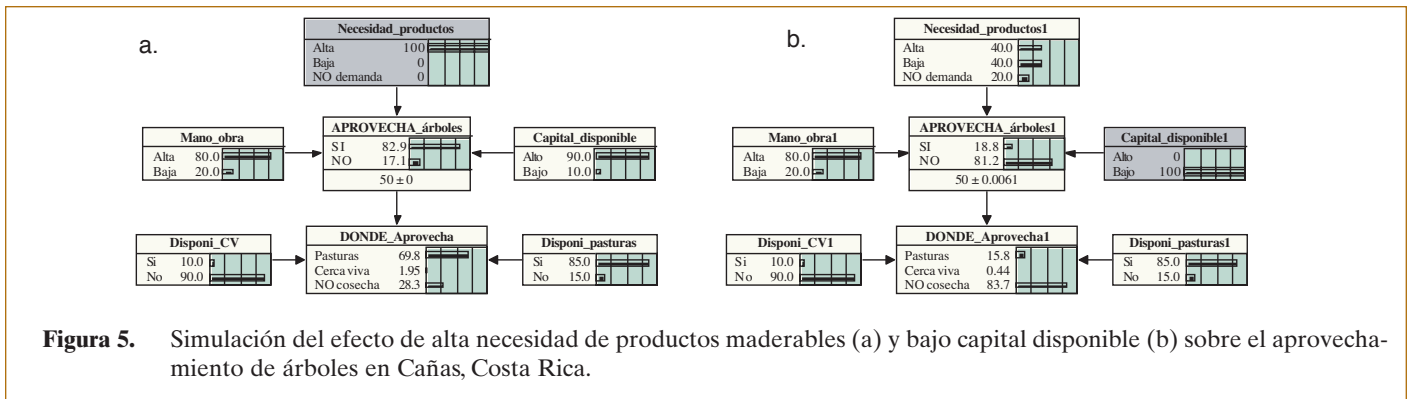
### Simulación de modelos de decisión

La demanda para productos maderables es el factor que más influye en el aprovechamiento de los árboles. Al cambiar a 100% la probabilidad de alta necesidad de productos maderables (madera y/o postes) en el modelo de simulación, el aprovechamiento de los árboles aumentó considerablemente (82,9%), y también aumentó el área de pasturas como el lugar de mayor explotación (69,8%). Por otro lado, cuando al capital disponible fue bajo (probabilidad del 100%), el aprovechamiento mostró una menor probabilidad (18,8%) (Figura 5).

Para mantener y/o aumentar la cobertura arbórea en potreros, es necesario que las fincas consuman cantidades menores de madera y/o postes muertos. La parte de postes muertos se podría compensar con un uso mayor de poste vivo, que de hecho es la tendencia de las fincas en la zona en estudio, dada la escasez de especies para poste muerto de mayor durabilidad y su alto precio en el mercado. Otra forma de compensación consiste en permitir la regeneración natural en algún área de la finca (aislada del ganado), con lo cual la finca contaría con una fuente propia para satisfacer los requerimientos de productos arbóreos, además de mejorar las propiedades físico-químicas del suelo (restauración de suelos degradados).

### Podas y plantación de individuos en cercas vivas

La poda en cercas vivas es la eliminación parcial o total de las ramas que conforman la copa de los árboles existentes. Las especies predominantes en la zona de estu-



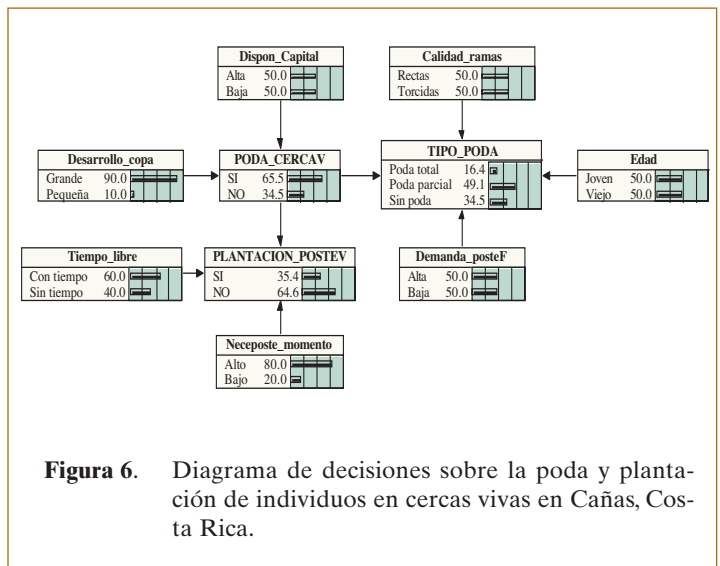
**Figura 5.** Simulación del efecto de alta necesidad de productos maderables (a) y bajo capital disponible (b) sobre el aprovechamiento de árboles en Cañas, Costa Rica.

dio son jiñote (*Bursera simaruba*) y pochote (*Pachira quinata*) (Villanueva *et al.* 2004). La práctica de la poda se lleva a cabo en la época seca (febrero, marzo y abril) para darle forma al crecimiento de los árboles (fuste recto y copa pequeña); evitar daños a la cerca por volcamiento de árboles con copa grande; cosechar estacas o poste vivo para siembra o resiembra en cercas (principal producto de la poda), y despejar caminos públicos para el movimiento de vehículos de transporte y áreas donde existe paso de cables de conducción eléctrica. La plantación implica la siembra de postes vivos en cercas nuevas o la resiembra de postes en cercas ya establecidas, la cual es practicada en el mismo período de la poda. Los postes usados tienen un largo que varía entre 2,3 y 2,5 m, y un diámetro de entre 5,3 y 15,5 cm.

Las principales decisiones sobre el manejo de cercas vivas son poda de árboles, tipo de poda y plantación de poste vivo (Figura 6). La poda tuvo una probabilidad de llevarse a cabo del 65,5%, influenciada por los factores disponibilidad de capital (en efectivo) y desarrollo de la copa. Este último factor fue determinante, ya que si la copa es muy grande (diámetro de copa mayor a 6 m), la probabilidad de poda es alta (90%), con el objetivo de prevenir las posibles consecuencias del daño a la cerca por volcamiento de árboles (ruptura del alambre y movimiento desordenado de los animales, dentro o fuera de la finca).

La mayoría de las podas realizadas son parciales (probabilidad de 49%). Los factores vinculados al tipo de poda fueron la calidad de las ramas (rectas, vigorosas y en posición vertical en el centro de la corona o cabeza del árbol), la edad del árbol y la demanda de poste vivo para el futuro (próximos dos años). Cuando el árbol tiene una edad menor a los cuatro años (individuo joven), será objeto de podas parciales para permitir un rápido crecimiento. La poda parcial se limita a la eliminación de las ramas dañadas o aquellas fuera de la zona de la

corona para evitar problemas de volcamiento en el futuro. Los árboles adultos o viejos (mayores a cuatro años) pueden sufrir podas parciales o totales, dependiendo de las necesidades: en individuos deformes lo más seguro es la poda total, pero si existe una demanda de material de siembra para los próximos dos años, en combinación con la presencia de ramas de buena calidad, la poda es parcial; en otro caso, si la demanda de poste vivo para los próximos años es poca o inexistente, la poda es total. Normalmente, la poda parcial implica elegir las ramas de mejor calidad (dos o tres por árbol).

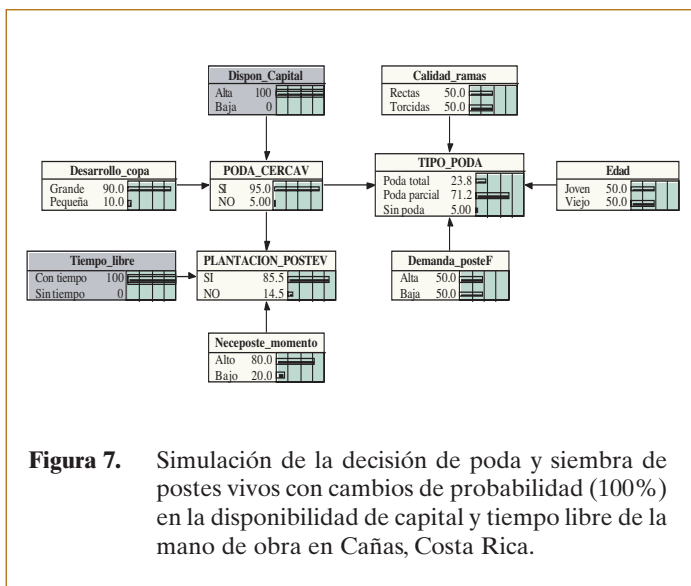


**Figura 6.** Diagrama de decisiones sobre la poda y plantación de individuos en cercas vivas en Cañas, Costa Rica.

La plantación de postes vivos mostró una probabilidad de ejecución del 35,4% y estuvo afectada por la necesidad de postes vivos durante el año y la disponibilidad de la mano de obra de la finca. No se plantan postes vivos cuando la mano de obra está comprometida con otras actividades de mayor relevancia, como la reparación de construcciones e instalaciones, preparación de áreas para nuevas pasturas, o manejo y alimentación del ganado.

*Simulación de modelos de decisión*

En la simulación del modelo se constató que cuando existió una alta disponibilidad de capital (100% de probabilidad), la probabilidad de realización de la poda aumentó a un 95%. Igualmente, al mantener el valor anterior de la poda y provocar un cambio en el tiempo libre de la mano de obra (a una probabilidad de 100%), se incrementó la siembra de postes vivos a una probabilidad del 85,5%. El cambio experimentado en la probabilidad de la poda aumentó también el valor de la poda parcial, la cual es la más practicada en las cercas vivas (Figura 7).

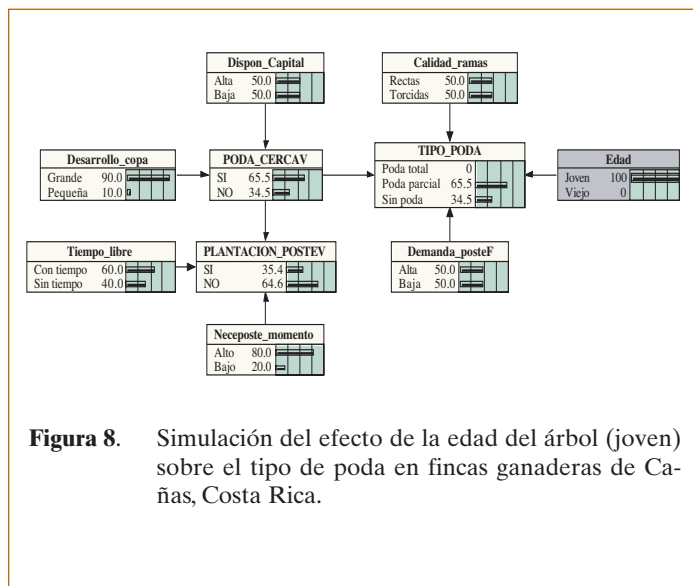


**Figura 7.** Simulación de la decisión de poda y siembra de postes vivos con cambios de probabilidad (100%) en la disponibilidad de capital y tiempo libre de la mano de obra en Cañas, Costa Rica.

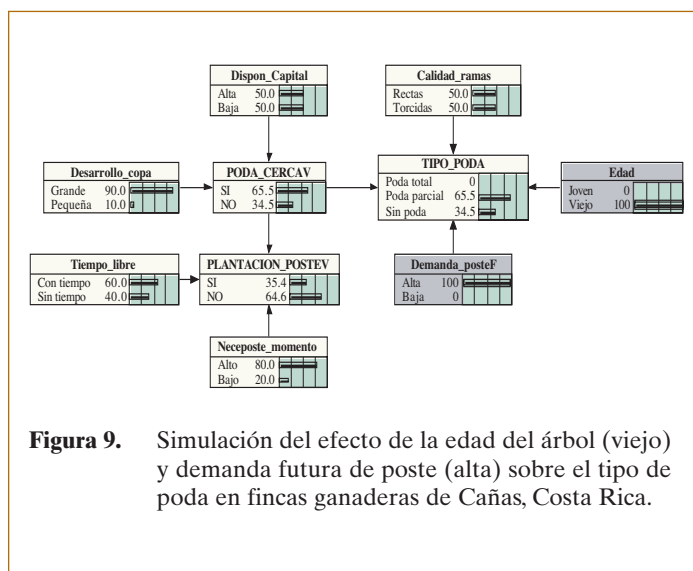
En la simulación se encontró que la edad del árbol define el tipo de poda. Cuando los árboles son jóvenes (100% probabilidad), la poda elegida es parcial (65,5% probabilidad; Figura 8), mientras que en árboles viejos esta fue parcial o total. La decisión dependió de la demanda futura de postes vivos (próximos dos años); en situaciones donde la demanda fue alta (100% probabilidad), la poda fue parcial (65,5% de probabilidad; Figura 9).

En términos generales, el aumento en las cercas vivas en densidad y diversidad de especies implica beneficios socioeconómicos y ecológicos a nivel de finca y paisaje. En este sentido, Holmann *et al.* (1992) sostienen que el enriquecimiento de cercas vivas con árboles maderables aporta un incremento del 15% en el ingreso de las fincas lecheras en la zona atlántica de Costa Rica. Varios autores han destacado la importancia de las cercas vivas

como hábitat, recursos y corredores biológicos para la vida silvestre (Cárdenas 2002, Harvey *et al.* 2004). Sin embargo, el costo y la disponibilidad de la mano de obra podrían constituirse en barreras al manejo de cercas vivas en las fincas (Holmann *et al.* 1997). Ante esta restricción, el pago de incentivos podría provocar un aumento de cercas vivas en fincas ganaderas, tal como se observa en el proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas en la Zona Pacífico Central de Costa Rica (Casasola 2004<sup>1</sup>).



**Figura 8.** Simulación del efecto de la edad del árbol (joven) sobre el tipo de poda en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica.



**Figura 9.** Simulación del efecto de la edad del árbol (viejo) y demanda futura de poste (alta) sobre el tipo de poda en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica.

<sup>4</sup> Casasola, F. 2004. Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas (entrevista). Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza.

## CONCLUSIONES

Los eventos relacionados con cambios de la cobertura arbórea en fincas ganaderas identificados durante el período de estudio fueron el control de malezas en pasturas, el aprovechamiento de árboles, la poda y la plantación de postes vivos en cercas. Entre estas actividades, solamente la plantación de postes vivos en cercas contribuyó a aumentar la cobertura arbórea en pasturas. Los factores comunes que influyeron en estas decisiones fueron la disponibilidad de capital y mano de obra, la abundancia de malezas en pasturas, la necesidad de productos maderables, y el tipo de árbol y el tamaño de copa de los árboles. Si se pretende diversificar o aumentar la cobertura arbórea en paisajes ganaderos, es importante tomar en cuenta las actividades de manejo que realizan los productores en sus potreros y los factores que influyen en sus decisiones. De este modo, se busca proponer estrategias que sean fácilmente adoptadas dentro del esquema actual de toma de decisiones de los productores. Una manera sencilla de promover la regeneración de árboles en potreros es incitar un control de malezas dirigido (chapias y herbicidas), lo cual significa eliminar únicamente plantas indeseables o excedentes. Otra alternativa sería aumentar el establecimiento de cercas vivas, para reducir la presión sobre el recurso arbóreo disponible en potreros.

## AGRADECIMIENTO

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT, financiado por el European Community Fifth Framework Programme 'Confirming the International role of Community Research' (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Cárdenas, G. Cobertura arbórea y diversidad de aves en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 123 p.
- Deffontaines, JP; Thenail, C; Baudfy, J. 1995. Agricultural systems and landscape patterns: how can we build a relationship? *Landscape and Urban Planning* 31:3-10.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. Base de datos estadísticos. (en línea). Roma. Consultado 20 ene. 2004. Disponible en <http://faostat.fao.org>
- Harvey, CA, Villanueva, C; Villacís, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Gómez, R; Taylor, R; Martínez, J; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Sinclair, FL. 2003. Contribución de cercas vivas a la productividad y ecología de paisajes agropecuarios en Centroamérica. *Revista Agroforestería en las Américas* (esta edición).
- Ibrahim, M; Camargo, JC. 2001. ¿Cómo aumentar la regeneración de árboles maderables en potreros? *Agroforestería en las Américas* 32:35-41.
- Holmann, F; Romero, F; Montenegro, J; Chana, C; Oviedo, E; Baños, A. 1992. Rentabilidad de sistemas silvopastoriles con pequeños productores de leche en Costa Rica: Primera aproximación. *Turrialba* 42(1):79-89.
- \_\_\_\_\_; Estrada, RD. 1997. Alternativas agropecuarias en la región Pacífico Central de Costa Rica: Un modelo de simulación aplicable a sistemas de doble propósito. In Holmann, F; Lascano, CE. eds. *Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito*. Cali, CO, CIAT. p. 134-152.
- Kaimowitz, D. 2001. Will livestock intensification help save Latin America's Tropical Forest? In Angelsen, A; Kaimowitz, D. eds. *Agricultural technologies and tropical deforestation*. Wallingford, UK, CABI. p. 1-20.
- Muñoz, D. 2004. Conocimiento local de la cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 206 p.
- Norsys. 1998. Netica 1.12 for Windows 95 and Windows NT 4.0. Norsys Software Corporation.
- Place, F; Otsuka, K. 2000. Population pressure, land tenure, and tree resources management in Uganda. *Land Economics* 76(2):233-251.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Sinclair, F; Gómez, R; López, M; Esquivel, H. 2004. Tree resources on pastureland in cattle production systems in the dry pacific region of Costa Rica and Nicaragua. In Mannelje, L; Ramírez, L; Ibrahim, M; Sandoval, C; Ojeda, N; Ku, J. eds. *The importance of silvopastoral systems for providing ecosystems services and rural livelihoods*. Mérida, MX, Universidad Autónoma de Yucatán. p. 183-188.

## Avances de investigación

# Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica<sup>1</sup>

Giovanni Cárdenas<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>3</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>3</sup>; Bryan Finegan<sup>3</sup>

**Palabras claves:** avifauna; bosques riparios; bosque seco tropical; cercas vivas; charrales; Guanacaste; índices de diversidad; potreros arbolados.

### RESUMEN

Se caracterizó la abundancia, riqueza y diversidad de aves en hábitats con diferente cobertura arbórea (fragmentos de bosque seco, bosques riparios, charrales, cercas vivas, potreros de alta y baja cobertura arbórea) en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. Utilizando puntos de conteo, se registró un total de 3037 individuos de aves pertenecientes a 29 familias y 80 especies. Los potreros de alta cobertura y los bosques riparios presentaron una mayor riqueza de especies de aves que los fragmentos de bosque seco y los potreros de baja cobertura. Además, los potreros de alta cobertura presentaron una abundancia de aves mayor respecto a los potreros de baja cobertura, bosque riparios y charrales. No se hallaron diferencias en el promedio del índice de equitatividad entre las especies en los diferentes hábitats. De acuerdo al índice de Shannon, los potreros de alta cobertura y los bosques riparios son más diversos que los fragmentos de bosque seco y los potreros de baja cobertura. Las aves insectívoras fueron las más comunes en los hábitats estudiados. Los fragmentos de bosque seco, bosques riparios y charrales albergaron principalmente los gremios nectarívoros, piscívoros y frugívoros, mientras que los potreros de alta y baja cobertura fueron dominados por las carnívoras, granívoras y omnívoras. Los hábitats boscosos presentaron una composición de aves diferente a la registrada en los hábitats abiertos, con más especies de aves particulares de bosque; mientras que los hábitats abiertos o potreros presentaron una composición de aves más simple, con aves particulares de sistemas agropecuarios.

**Diversity and richness of birds in different habitats in a fragmented landscape in Cañas, Costa Rica**

**Key words:** Avifauna; charrals; diversity indexes; Guanacaste; live fences; pastures with trees; riparian forests; tropical dry forest.

### ABSTRACT

The abundance, species richness and diversity of birds were characterized in habitats with different types of tree cover (dry forest fragments, riparian forests, forest fallows, live fences, pasture with high tree cover and pastures of low tree cover) in a fragmented landscape in Cañas, Costa Rica. Using point counts, a total of 3037 individuals of birds were registered from 29 families and 80 species. Pastures with high tree cover and riparian forests presented a higher richness of bird species than dry forest fragments and pastures with low tree cover. In addition, pastures with high tree cover presented a higher abundance of birds than that registered in pastures with low tree cover, riparian forests and forest fallows. There were no differences in the mean of the evenness index among the different habitats. Pastures with high tree cover and riparian forests had a higher Shannon diversity index than dry forest fragments and pastures with low tree cover. Insectivorous birds were the most common group in the habitats studied. Dry forest fragments, riparian forests and forest fallows contained mainly nectarivorous, piscivorous, and frugivorous guilds, while pastures with high and low tree cover contained mainly carnivorous, granivorous and omnivorous species. Forest habitats presented a different bird composition than that registered in the open habitats, with more species typical of forests, whereas the open habitats (pastures and live fences) presented a more simple bird composition, dominated by common species, typical of agricultural systems.

## INTRODUCCIÓN

En Mesoamérica, donde grandes áreas de bosque tropical han sido taladas para el establecimiento de pastizales y cultivos, el conjunto de paisajes consiste en un mosaico de pastizales, campos agrícolas esparcidos con diferentes tipos de vegetación (bosques riparios, bosquetes, árboles aislados, cortinas rompevientos y cercas

vivas) y fragmentos de bosque entremezclados con áreas residenciales y urbanas (Greenberg *et al.* 1997). Muchos de estos mosaicos están dominados por sistemas de producción ganadera; por ejemplo, cerca del 40% de Centroamérica está cubierto por pastizales (Ibrahim y Schlönvoight 1999). Esta transformación del

<sup>1</sup> Basado en Cárdenas, G. 2002. Cobertura arbórea y diversidad de aves en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 123 p.

<sup>2</sup> Mag. Sc. en Manejo de Bosques Tropicales y Conservación de Biodiversidad. CATIE, Sede Central. Correo electrónico: cardenas\_giovanni@yahoo.com (autor para correspondencia).

<sup>3</sup> Profesores-Investigadores, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: charvey@catie.ac.cr; mibrahim@catie.ac.cr; bfinegan@catie.ac.cr

paisaje ha tenido un impacto negativo sobre las comunidades aviares originales y otros grupos de organismos, reduciendo la diversidad de especies, interrumpiendo procesos ecológicos y modificando su composición (Daily *et al.* 2001).

Estudios recientes han sugerido que los árboles en los potreros cumplen un papel importante en la conservación de especies de aves silvestres en paisajes fragmentados, al proporcionar refugio, sitios de descanso, anidación y alimento (Harvey y Haber 1999). Además, las cercas vivas, cortinas rompevientos y fragmentos de bosque también pueden servir como corredores biológicos para algunas especies en paisajes agropecuarios, mejorando la conectividad del paisaje y ayudando al desplazamiento de las aves silvestres entre parches de bosques naturales remanentes (Areskoug 2001), aumentando también la dispersión de semillas entre fragmentos y hacia los potreros (Harvey *et al.* 2000). Sin embargo, todavía hay pocos estudios detallados sobre la biodiversidad presente en paisajes fragmentados de Mesoamérica. El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la cobertura arbórea sobre la abundancia, diversidad y distribución de las aves en diferentes hábitats dentro de un paisaje fragmentado en Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio

La zona de estudio se ubicó dentro de una matriz agropecuaria en la Provincia de Guanacaste, Costa Rica, a

16 km al sur de Cañas. El área total del proyecto cubrió 1000 ha (10°20'35,2"N y 85°08'41,8"O; 80-250 msnm). La zona se caracteriza por tener una temperatura promedio anual de 27,7 °C y una precipitación media anual de 1544 mm, con una época seca bien definida entre noviembre y abril. Los fragmentos de bosques naturales remanentes y la vegetación nativa predominante pertenecen a la zona de vida del Bosque Seco Tropical y Bosque Seco Tropical Transición a Bosque Subhúmedo (Holdridge 1967).

Actualmente, el paisaje está caracterizado por la actividad agropecuaria, donde la ganadería bovina y la caña de azúcar son los sistemas predominantes. El 60% de las fincas del área se dedican al engorde (carne), el 20% tiene un sistema doble propósito (carne y leche) y el 20% restante maneja un sistema agropecuario mixto (ganadería y agricultura). En la zona se manejan diversas razas de ganado, predominando las cebuinas, principalmente en fincas de engorde y sistemas de doble propósito (Restrepo 2002). Las especies de pastos más utilizadas son *Brachiaria brizantha* e *Hyparrhenia rufa*. Las fincas presentan diferentes tipos de cobertura arbórea, la cual es conservada por los productores por variados intereses tales como leña, frutos, sombra para los animales y belleza escénica (Restrepo 2002).

Se estudiaron seis tipos de hábitats dominantes en el paisaje: fragmentos de bosque seco (BS), bosques riparios (BR), charrales (CH), cercas vivas (CV), potreros de alta cobertura de árboles (16-25% de cobertura ar-



*Tyrannus melancholicus*. Nombres comunes: pecho amarillo o tirano tropical (Rachel Taylor).

bórea; PAC) y potreros de baja cobertura de árboles (1-15% de cobertura arbórea; PBC). Estos hábitats fueron seleccionados dentro de las 10000 ha de la zona de estudio, usando un sistema de información geográfica (SIG) creado por medio de fotografías aéreas (*3-band natural colors*) TERRA-flight 1998 y una imagen de satélite (*panchromatic b/w*) Ikonos 2001. Cada fragmento se clasificó según su uso de suelo y, por medio del SIG, se ubicaron al azar en fragmentos (>3 ha) las parcelas de muestreo de 1 ha, en las cuales se realizaron los conteos de las aves. Se establecieron ocho parcelas en cada tipo de hábitat, con excepción de BS, donde se establecieron cinco parcelas (i.e. 45 parcelas en total).

### Método de toma de datos

El muestreo de las aves se realizó por medio de puntos de conteo (Reynolds *et al.* 1980), estableciendo cuatro puntos en las esquinas de las parcelas en los hábitats BS, CH, PAC y PBC; mientras que en BR y CV se establecieron cuatro puntos distribuidos linealmente. Los puntos de muestreo estuvieron distanciados a 100 m en la parcela, para evitar el solapamiento (Gillespie 2000). Se identificó, contó y registró todas las especies de aves (Price *et al.* 1999) que fueron observadas u oídas dentro de un círculo de 20 m de radio, durante un período de 15 min continuos de muestreo en cada punto (Greenberg *et al.* 1997). Las observaciones se realizaron entre las 06:00 y 08:00 h y entre las 15:00 y 17:00 h (Johns 1991). Los muestreos se realizaron entre mayo y agosto del 2002, rotando las jornadas de muestreo en el día (mañana y tarde), con un total de 32 h en promedio por hábitat, a excepción de BS, en el cual se muestreó por 20 h.

A cada individuo o grupo observado o escuchado se le registró la hora del censo, número de punto de muestreo, la especie y el número de individuos por especie (Ralph *et al.* 1996).

Se calculó la riqueza y abundancia de especies de aves, el índice de equitatividad de especies y el índice de diversidad de Shannon de cada parcela de muestreo. Además, se realizó un análisis de agrupamiento de los hábitats con base en la composición de especies (presencia o ausencia), empleando el índice de similitud de Jaccard; estos índices fueron calculados utilizando BioDiversity Professional Beta. Se clasificaron las aves según el gremio alimenticio al que pertenecen, distinguiendo entre carnívoras (incluyen carroñeras), frugívoras, granívoras, insectívoras, nectarívoras, omnívoras y piscívoras, de acuerdo con la guía de las aves de Costa Rica (Stiles y Skutch 1989). Igualmente, se determinó el número de especies y de individuos de aves propias de áreas boscosas y de áreas de pastizales, con base en la misma guía (Stiles y Skutch 1989).

Se seleccionó una parcela rectangular de 0,1 ha (20 x 50 m), partiendo del centro de la parcela de 1 ha y ubicándola en sentido norte-sur, para caracterizar la cobertura arbórea en el paisaje en BS, CH, PAC y PBC. En los bosques riparios, se empleó una parcela rectangular de 10 x 100 m, debido a la forma de estos hábitats. Estas parcelas se ubicaron en el centro de la de 1 ha, paralela a la orilla de la quebrada o río. Con el apoyo de dos ingenieros forestales de la Universidad Nacional de Costa Rica, se identificaron hasta especie los árboles con



*Zimmerius vilissimus*. Nombre común: mosquerito cejigrís (Rachel Taylor).

diámetro a la altura del pecho (dap) mayor a 10 cm y se midió su dap y su altura total.

Se empleó un análisis de varianza por medio de InfoStat versión 1.1, para comparar la riqueza y abundancia de las especies, los índices de diversidad, los gremios alimenticios encontrados y la riqueza y abundancia de aves de áreas boscosas o abiertas entre los diferentes tipos de hábitats.

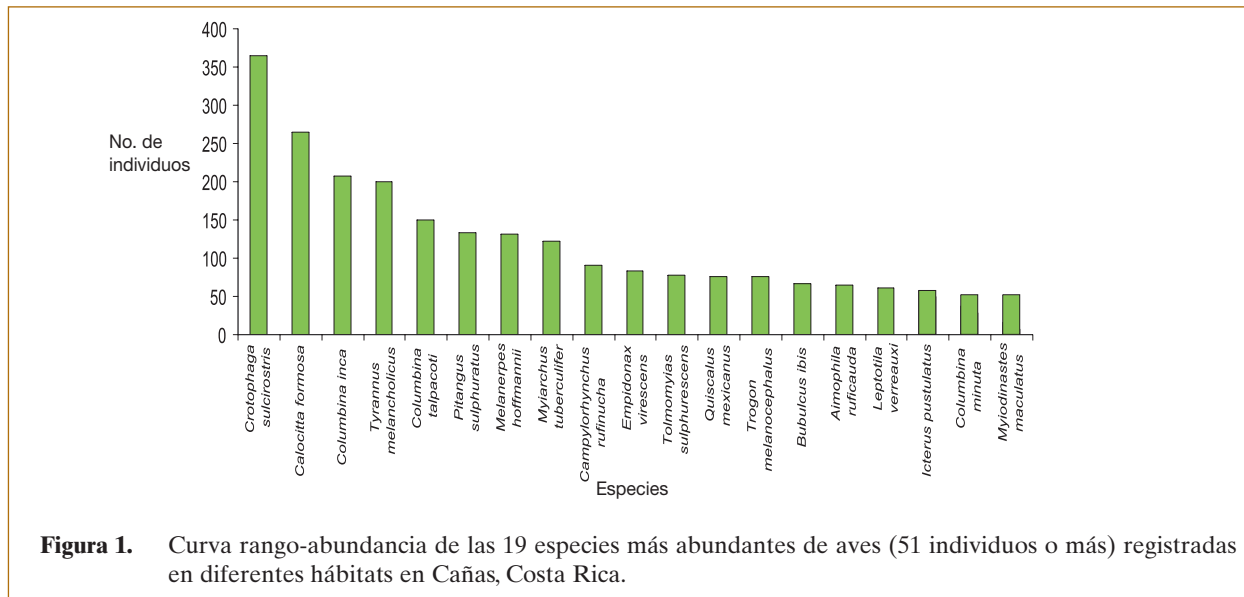
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Composición de la avifauna**

Se registró un total de 3037 individuos de aves pertenecientes a 29 familias y 80 especies en los seis hábitats muestreados. De las 80 especies, 19 fueron comunes a toda el área y se registraron con más de 50 individuos (Figura 1); por otro lado, 32 especies fueron de poco comunes a escasas, pues de ellas se registraron menos de 10 individuos por especie. La familia Tyrannidae fue la

más rica (12 spp.), seguida por Emberizidae (8 spp.), Columbidae, Trochilidae e Icteridae (6 spp. cada una). Las 24 familias restantes estuvieron representadas por cinco especies o menos. Se destaca la gran variedad de familias presentes, incluyendo garzas (Ardeidae), gorriones del nuevo mundo y picogrueros (Emberizidae), águilas y gavilanes (Accipitridae), loros (Psittacidae) y golondrinas (Hirundinidae). La familia de los mosqueros americanos o atrapamoscas tropicales (Tyrannidae) fue la más rica en especies de aves, especialmente en los hábitats de áreas abiertas, como los potreros.

Las especies más abundantes en el área de estudio fueron el garrapatero piquiestriado (*Crotophaga sulcirostris*), la urraca copetona (*Calocitta formosa*), la tortolita colilarga (*Columbina inca*), el tirano tropical (*Tyrannus melancholicus*) y la tortolita rojiza (*Columbina talpacoti*; Cuadro 1; Figura 1). Seis de las diez especies



**Figura 1.** Curva rango-abundancia de las 19 especies más abundantes de aves (51 individuos o más) registradas en diferentes hábitats en Cañas, Costa Rica.

**Cuadro 1.** Abundancia y características de las diez especies de aves más abundantes en Cañas, Costa Rica.

Especies	Abundancia relativa (% individuos de 3037 total)	Áreas de preferencia	Hábitats con registros	Gremio
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	12,0	A	BR, CH, CV, PAC, PBC	O
<i>Calocitta formosa</i>	8,7	A, B	BS, BR, CH, CV, PAC, PBC	O
<i>Columbina inca</i>	6,8	A, B	BS, BR, CH, CV, PAC, PBC	G
<i>Tyrannus melancholicus</i>	6,6	A	BS, BR, CH, CV, PAC, PBC	I
<i>Columbina talpacoti</i>	4,9	A	BR, CH, CV, PAC, PBC	G
<i>Pitangus sulphuratus</i>	4,4	A	BS, BR, CH, CV, PAC, PBC	O
<i>Melanerpes hoffmannii</i>	4,3	A, B	BS, BR, CH, CV, PAC	I
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	4,1	A, B	BS, BR, CV, PAC	I
<i>Campylorhynchus rufinucha</i>	3,0	A, B	BS, BR, CH, CV, PBC	I
<i>Empidonax virescens</i>	2,7	A, B	BS, BR, CH, CV, PAC, PBC	I

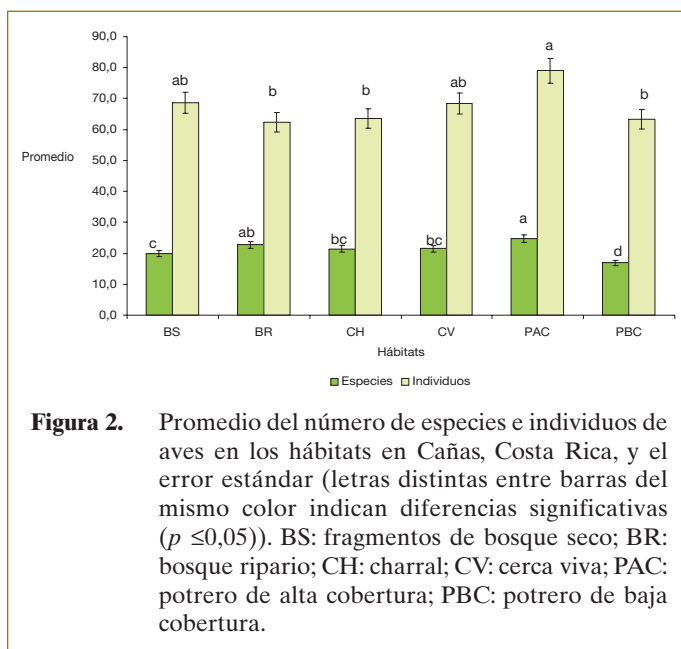
A: abiertas, B: boscosas, según Stiles y Skutch (1989).  
 BS: fragmentos de bosque seco; BR: bosque ripario; CH: charral; CV: cerca viva; PAC: potrero de alta cobertura; PBC: potrero de baja cobertura.  
 G: granívoras, I: insectívoras, O: omnívoras, según Stiles y Skutch (1989).



(*C. formosa*, *C. inca*, *T. melancholicus*, *Pitangus sulphuratus*, *Empidonax virescens* y *Leptotila verreauxi*) más abundantes no presentaron una preferencia clara por algún tipo de hábitat y fueron registradas tanto en áreas abiertas como boscosas. Las especies más abundantes pertenecen en su mayoría al gremio de las insectívoras y omnívoras (Cuadro 1).

### Comparaciones entre hábitats

Se presentaron diferencias en el número de especies de individuos de aves entre hábitats (Cuadro 2). Los potreros de alta cobertura y los bosques riparios presentaron un mayor promedio de especies de aves que los fragmentos de bosque seco y los potreros de baja cobertura ( $p < 0,0001$ ; Figura 2). El número promedio de individuos registrados fue diferente entre hábitats ( $p < 0,0001$ ). Los potreros de alta cobertura presentaron un número de individuos mayor que el registrado en los potreros de baja cobertura, bosques riparios y charrales (Figura 2).



Se encontraron diferencias en la abundancia, riqueza, diversidad y composición de las especies de aves registradas en los diferentes hábitats. Los potreros de alta cobertura y los bosques riparios presentaron diferencias en la riqueza de especies, con más especies que las registradas en los fragmentos de bosque seco, charrales, cercas vivas y potreros de baja cobertura. En cuanto a la abundancia, se encontró que los potreros de alta cobertura presentaron un mayor número de aves que los registrados en los bosques riparios, charrales y potreros de baja cobertura (Cuadro 2).

Los hábitats presentaron un índice de equitatividad similar entre sí (Cuadro 2), lo que sugiere una igualdad en el número de individuos por especie de aves registradas en toda el área de estudio. Sin embargo, estos valores bajos del índice de equitatividad (entre 0,18 y 0,26) reflejan una dominancia por parte de algunas especies de aves, como *C. sulcirostris*, *C. formosa*, *C. inca* y *T. melancholicus*.

**Cuadro 2.** Comparación de la abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades aviarias en diferentes hábitats en Cañas, Costa Rica.

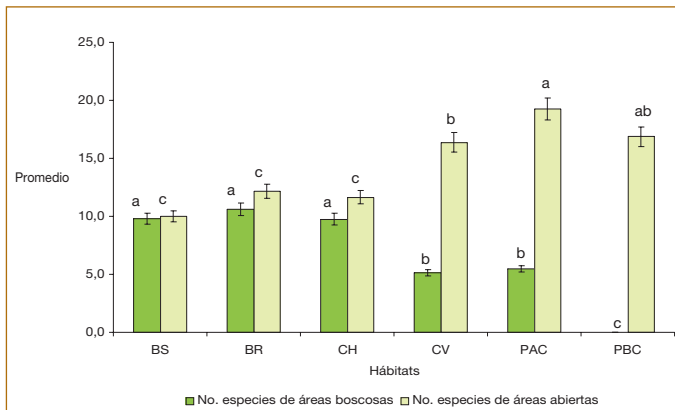
	BS	BR	CH	CV	PAC	PBC
No. de especies	30	39	45	42	45	28
No. de individuos	343	499	508	548	632	507
Índice de equitatividad	0,26 a	0,18 a	0,25 a	0,25 a	0,25 a	0,25 a
Índice de Shannon	1,17 bc	1,26 a	1,21 ab	1,22 ab	1,27 a	1,11 c

BS: fragmentos de bosque seco; BR: bosque ripario; CH: charral; CV: cerca viva; PAC: potrero de alta cobertura; PBC: potrero de baja cobertura. Letras distintas en las filas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

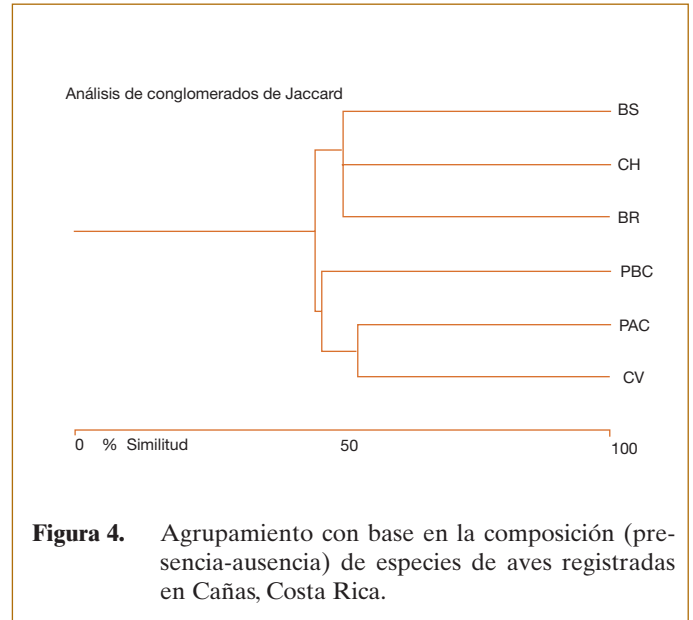
La diversidad de especies (índice de Shannon) entre los hábitats fue diferente, ya que los potreros de alta cobertura y los bosques riparios fueron más diversos comparados con los fragmentos de bosque seco y los potreros de baja cobertura ( $p = 0,0001$ ; Cuadro 2). La gran diversidad de aves en potreros de alta cobertura se debe posiblemente a que las especies de árboles más abundantes en este hábitat fueron *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea*, *Byrsonima crassifolia* y *Acosmium panamense*, las cuales brindan variados recursos (refugio, alimento y sitios de descanso o percha) a diferentes especies de aves propias de áreas abiertas, las cuales dominaron el área de estudio.

Los fragmentos de bosque seco, bosques riparios y charrales presentaron un mayor número de especies propias de áreas boscosas que las cercas vivas y los potreros de alta y baja cobertura ( $p < 0,0001$ ). En cambio, en los potreros de baja cobertura no se registró ninguna especie de ave propia de áreas boscosas (Figura 3). El número de especies de aves propias de áreas abiertas fue diferente entre los hábitats, encontrándose más de estas en los potreros de alta y baja cobertura y en las cercas vivas ( $p < 0,0001$ ; Figura 3).

Los fragmentos de bosque seco, bosques riparios y charrales albergaron principalmente los gremios nectarívoros, frugívoros y piscívoros, mientras que los sistemas silvopastoriles albergaron los carnívoros, granívoros y



**Figura 3.** Promedio del número de especies de aves particulares de áreas boscosas y de áreas abiertas en Cañas, Costa Rica, y el error estándar (letras distintas entre barras del mismo color indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )). BS: fragmentos de bosque seco; BR: bosque ripario; CH: charral; CV: cerca viva; PAC: potrero de alta cobertura; PBC: potrero de baja cobertura.



**Figura 4.** Agrupamiento con base en la composición (presencia-ausencia) de especies de aves registradas en Cañas, Costa Rica.

omnívoros (Cuadro 3). El gremio alimenticio con mayor riqueza y abundancia fue el de los insectívoros, representados por el 41% de las especies y el 37% de los individuos registrados. Se encontraron diferencias en el número de especies y de individuos para los diferentes gremios alimenticios (Cuadro 3).

La composición de las especies de aves entre hábitats varió, encontrándose dos grupos: hábitats boscosos (BS, BR y CH) y hábitats abiertos (PAC, PBC y CV). Estos dos grupos compartieron un 45,1% de sus especies. Los hábitats con una composición de aves más similar entre

sí fueron las cercas vivas y los potreros de alta cobertura (52,6%; Figura 4). La mayoría de las especies y de individuos encontrados en este paisaje fragmentado son particulares de áreas abiertas, las cuales son generalistas y se favorecen con la reducción de las áreas boscosas. También se presentaron diferencias en el número de especies y de individuos de aves particulares de áreas boscosas. Los fragmentos de bosque seco, bosques riparios y charrales presentaron un mayor número de especies e individuos de bosque que los potreros de alta cobertura y las cercas vivas. No se registró ninguna especie particular de áreas boscosas en los potreros de baja cobertura, debido a que estas especies podrían estar restringidas a los hábitats boscosos.

**Cuadro 3.** Promedio de especies e individuos de aves pertenecientes a los gremios carnívoros, frugívoros, granívoros, insectívoros, nectarívoros, omnívoros y piscívoros en los diferentes hábitats en Cañas, Costa Rica.

Gremio	Número	BS	BR	CH	CV	PAC	PBC
Nectarívoros	especies	2,40 a	1,37 b	1,50 b	1,12 b	1,12 b	1,12 b
	individuos	3,00 a	1,62 b	2,00 ab	1,62 b	1,12 bc	0,12 c
Frugívoros	especies	2,00 ab	1,37 ab	2,12 a	1,62 ab	0,87 bc	0,0 c
	individuos	8,20 a	5,87 ab	6,50 ab	5,50 ab	3,00 bc	0,0 c
Piscívoros	especies	0,0 b	2,25 a	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
	individuos	0,0 b	3,12 a	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
Carnívoros	especies	0,0 c	0,37 ab	0,62 ab	0,12 bc	0,87 a	0,75 ab
	individuos	0,0 c	0,50 ab	1,12 ab	0,12 bc	1,50 a	1,25 a
Granívoros	especies	2,80 c	4,12 b	5,00 ab	5,87 a	6,25 a	5,12 ab
	individuos	10,20 c	10,50 c	13,00 c	18,87 ab	20,5 a	15,12 bc
Omnívoros	especies	2,40 c	2,87 bc	2,87 bc	3,37 b	5,62 a	3,50 b
	individuos	15,40 c	14,00 c	17 bc	18,50 bc	28,25 a	23,62 ab
Insectívoros	especies	10,20 a	10,37 a	9,25 a	9,37 a	1,00 a	7,37 b
	individuos	31,8 a	26,75 a	23,87 a	23,87 a	24,62 a	23,25 a

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

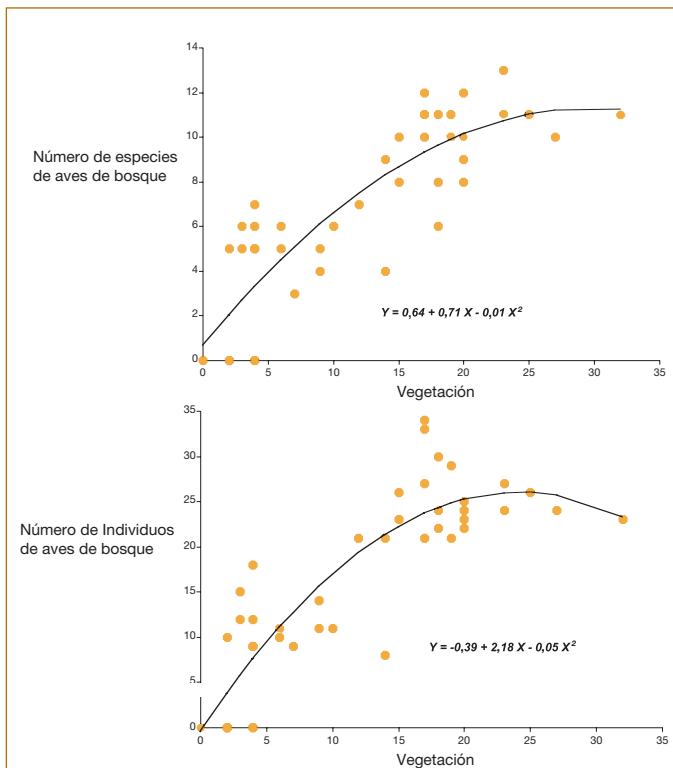
Los hábitats boscosos presentaron una composición de aves más compleja (mayor número de especies particulares de bosque) que los hábitats abiertos (especies comunes y particulares de sistemas agropecuarios). La composición de la avifauna encontrada en los fragmentos de bosque seco, bosques riparios y charrales se caracteriza por la presencia de especies de aves características de áreas boscosas, tales como: *Chiroxiphia linearis*, *Heliomaster constantii*, *Morococcyx erythropygius*, *Pachyrhamphus aglaiae*, *Thamnophilus doliatus*, *Thryothorus pleurostictus* y *Trogon melanocephalus*. Por otro lado, las especies presentes únicamente en los potreros de alta y baja cobertura y en las cercas vivas, tales como *Bubulcus ibis*, *Burhinus bistriatus*, *Milvago chimachima*, *Oryzoborus nuttingi*, *Sporophila torqueola*, *Sturnella magna* y *Volatinia jacarina* son características de hábitats abiertos y áreas de pastizales.

Se encontró una relación positiva entre el número de especies y de individuos de aves de hábitats boscosos con la riqueza de especies arbóreas ( $p < 0,0001$ ,  $r^2 = 0,74$ ;  $p < 0,0001$ ,  $r^2 = 0,75$ , respectivamente; Figuras 5a y 5b).

Lo anterior parece indicar que la riqueza y abundancia de especies y de individuos está en función de la riqueza de árboles presentes, indicando que cuanto mayor riqueza de especies arbóreas mayor número de aves particulares de hábitats boscosos. Esta relación se debió al hecho de que, al presentarse una mayor riqueza de especies de árboles, aumentó la cantidad y variedad de recursos para las aves, permitiendo que los fragmentos de bosque seco y ripario conserven especies propias de hábitats boscosos, lo cual coincide con lo reportado por otros autores (Mills *et al.* 1991).



*Crotophaga sulcirostris*. Nombre común: tinjo (Rachel Taylor).



**Figura 5.** Relación entre la riqueza de árboles y el número de especies (a) y de individuos (b) de aves particulares de hábitats boscosos en Cañas, Costa Rica. Cada punto representa una parcela ( $n = 45$  total).

### CONCLUSIONES

A pesar de ser un paisaje muy fragmentado, con poco bosque, el paisaje de Cañas aún retiene un número considerable de aves, con un total de 80 especies registradas. Según este estudio, los hábitats que mantienen una avifauna más diversa son los bosques riparios y los potreros con alta cobertura arbórea. Sin embargo, los hábitats con el mayor número de aves típicas de bosque — que son las especies de mayor interés para la conservación— son los fragmentos de bosque, los bosques riparios y los charrales. Los potreros de alta cobertura arbórea, a pesar de mantener un gran número de especies e individuos, son dominados por especies comunes, típicas de áreas perturbadas y de poco interés para la conservación; por lo tanto, los esfuerzos en ese

sentido deben enfocarse primero en conservar los fragmentos de bosque y bosques riparios que aún se mantienen en el paisaje, y al mismo tiempo tratar de aumentar la cobertura arbórea presente en los potreros activos.

Este estudio muestra, al igual que los de otros autores (Daily 2001, Daily *et al.* 2001, Harvey *et al.* 2004), que los paisajes agropecuarios pueden conservar una porción de la avifauna nativa y merecen ser tomados en cuenta en los planes de manejo y conservación de biodiversidad. En el ámbito regional, la cobertura arbórea de los paisajes agropecuarios también ofrece oportunidades para la implementación del Corredor Biológico Mesoamericano.

### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen.

### BIBLIOGRAFÍA CITADA

Areskou, V. 2001. Utilization of remnant dry-forest corridors by the native fauna in a pastoral landscape in the Paraguayan Chaco. *CBM:s Skriftserie* 3: 25-38.

Daily, G. 2001. Ecological forecasts. *Nature* 411: 245.

\_\_\_\_\_; Ehrlich, PR; Sanchez-Azofeifa, A. 2001. Countryside biogeography: use of human-dominated habitats by the avifauna of southern Costa Rica. *Ecological Applications* 11(1): 1-13.

Gillespie, TW. 2000. Rarity and conservation of forest birds in the tropical dry forest region of Central America. *Biological Conservation* 96: 161-168.

Greenberg, R; Bichier, P; Cruz-Angon, A; Reitsma, R. 1997. Bird populations in shade and sun coffee plantations in central Guatemala. *Conservation Biology* 11(2): 448-459.

Harvey, C; Guindon, CF; Haber, WA; Hamilton DeRosier, D; Murray, KG. 2000. The importance of forest patches. Isolated trees and agricultural windbreaks for local and regional biodiversity: the case of Monteverde. Costa Rica. *In IUFRO Word Congress* (21, 2000, Kuala Lumpur, MY). Subplenary Sessions. Kuala Lumpur, MY. v. 1. p. 787-798.

\_\_\_\_\_; Haber, W. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44: 37-68.

\_\_\_\_\_; Tucker, N; Estrada, A. 2004. Live fences, isolated trees and windbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes? *In Schroth, G; Fonseca, GAB; Harvey, CA; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. eds. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes.* Washington, DC, US, Island Press. p. 261-289.

Holdridge, LR. 1967. Life zone ecology. Costa Rica, Centro Científico Tropical. 206 p.

Ibrahim, M; Schlonvoigt, A. 1999. Silvopastoral systems for degraded lands in the humid tropics. Environmental friendly silvopastoral alternatives for optimizing productivity of livestock farms: CATIE's experience. *In Semana Científica* (4, 1999, Turrialba, CR). Actas. Turrialba, CR, CATIE. p. 277-282.

Johns, AD. 1991. Responses of Amazonian rain forest birds to habitat modification. *Journal of Tropical Ecology* 7: 417-437.

Mills, GS; Dunning, JB; Bates, JM. 1991. The relationship between breeding bird density and vegetation volume. *Wilson Bulletin* 103: 468-479.

Price, OF; Woinarski, JCZ; Robinson, D. 1999. Very large areas requirements for frugivorous birds in monsoon rainforest of the Northern Territory. Australia. *Biological Conservation* 91: 169-180.

Ralph, CJ; Geupel, GR; Pyle, P; Martin, TE; DeSante, DF; Milá, B. 1996. Manual de métodos de campos para el monitoreo de aves terrestres. General Technical Report. Albany, CA, US, Pacific Southwest Station, Forest Service, US Department of Agriculture. 59 p.

Restrepo, C. 2002. Relaciones entre cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 120 p.

Reynolds, RT; Scott, JM; Nussbaum, RA. 1980. A variable circular-plot method for estimating bird numbers. *Condor* 82: 309-313.

Stiles, FG; Skutch, AF. 1989. A guide to the birds of Costa Rica. New York, US, Cornell University Press. 511 p.

## Avances de investigación

# Composición de la comunidad de aves en cercas vivas de Río Frío, Costa Rica<sup>1</sup>

Ivan Lang<sup>2</sup>; Lorraine H.L. Gormley<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>3</sup>; Fergus L. Sinclair<sup>2</sup>

**Palabras claves:** diversidad de aves; estructura; paisajes rurales; sistemas silvopastoriles.

### RESUMEN

Se caracterizó la composición de la comunidad de aves en dos tipos de cercas vivas, en un paisaje dominado por pasturas, en Río Frío, Costa Rica, para determinar el potencial de las cercas vivas para la conservación de la diversidad de aves dentro del paisaje y los efectos de la estructura de dichas cercas sobre esta diversidad. Un total de 1548 individuos de 92 especies de aves se registró en 16 cercas vivas, ocho de las cuales eran de estructuras simples y ocho complejas. Las cercas vivas complejas (con árboles grandes y copas anchas) presentaron una mayor riqueza y abundancia de especies de aves que las cercas simples (con árboles más pequeños y copas podadas), indicando que el manejo que los productores dan a las cercas vivas puede ser un factor importante para mantener la diversidad de aves en paisajes ganaderos.

**Composition of the bird community in live fences of Rio Frio, Costa Rica**

**Key words:** Bird diversity, rural landscapes, silvopastoral systems, structure.

### ABSTRACT

The avian community was characterized in two types of live fences in a pastoral landscape in Rio Frio, Costa Rica, to determine the potential role of live fences in the conservation of bird diversity, as well as the effects of fence structure. A total of 1548 individuals from 92 bird species were recorded on 16 live fences, eight of simple structure and eight of complex structure. Complex live fences (with large trees and wide crowns) had a higher bird species richness, abundance and diversity than simple fences (with smaller, pollarded trees), indicating that the management of live fences by farmers can be an important factor in maintaining avian diversity in pastoral landscapes.

## INTRODUCCIÓN

En muchas regiones de Centroamérica —particularmente en áreas de tierras bajas—, grandes áreas de bosque han sido convertidas en pasturas para la producción ganadera, creando paisajes conformados por pequeños fragmentos de bosque dentro de un mosaico de hábitats agropecuarios. Esta fragmentación ha tenido un efecto negativo sobre la biodiversidad debido a la reducción de hábitats y recursos, el aislamiento de poblaciones y la interrupción de procesos ecológicos, tales como la dispersión de semillas, la polinización y el intercambio de genes (Laurance y Bierregaard 1997). Numerosos estudios han mostrado que la transformación de paisajes boscosos hacia pastizales abiertos ha afectado negativamente las comunidades originales de aves, modificando

su composición y reduciendo el tamaño de las poblaciones de algunas especies (Laurance y Bierregaard 1997, Renjifo 1999).

Muchos paisajes agropecuarios aún mantienen cobertura arbórea dentro de las fincas, en forma de bosques riparios, árboles dispersos y cercas vivas, que podría ayudar a mantener la biodiversidad al proveer hábitats y recursos y preservar cierto nivel de conectividad del paisaje (Harvey y Haber 1999). Por ejemplo, en la zona ganadera de Río Frío, Costa Rica, la mayoría de las fincas ganaderas tienen una diversidad de árboles dispersos y cercas vivas en los potreros (Villacis 2004), que aunque están presentes en bajas densidades, incrementan la

<sup>1</sup> Basado en Lang, I. 2003. An investigation in to the avian community composition and use of live fences in Río Frío, Costa Rica. M.Sc. Thesis. Bangor, UK, University of Wales. 66 p.

<sup>2</sup> School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor, LL57 2UW, Wales, UK. Correos electrónicos: l.gormley@bangor.ac.uk (autor para correspondencia); f.l.sinclair@bangor.ac.uk

<sup>3</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: charvey@catie.ac.cr

cobertura arbórea del paisaje y podrían ofrecer recursos y hábitats para la vida silvestre. Sin embargo, existen pocos estudios sobre la importancia de esta cobertura arbórea, especialmente de las cercas vivas, para la conservación.

El propósito principal de este estudio fue caracterizar la composición de la comunidad aviar en el paisaje de Río Frío, Costa Rica, para evaluar el posible aporte de las cercas vivas a la conservación de comunidades de aves.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en Río Frío, localizado a 70 km al noreste de San José, en la provincia de Heredia, en la vertiente atlántica de Costa Rica, dentro del área de estudio del proyecto FRAGMENT (10°22'N y 83°53'O; 100-150 msnm), con promedios de 25,4 °C de temperatura, 88% de humedad relativa y 4120 mm de precipitación. El área de estudio corresponde a la zona de vida bosque muy húmedo tropical y está dominada por pasturas para la producción de leche. Una característica importante del paisaje es la red de cercas vivas que los productores han establecido para dividir apartos y controlar el movimiento del ganado. La mayoría de las cercas son de poró (*Erythrina costaricensis*) y madero negro (*Gliricidia sepium*), pero también existen especies como *Yucca* spp., *Citrus* spp. e indio desnudo (*Bursera simaruba*). Muchas de las cercas vivas son podadas regularmente a 2-3 m de altura.

Se seleccionaron 16 cercas vivas (ocho de cada tipo de cerca viva según el tipo de estructura), de aproximadamente 200 m de longitud, localizadas en potreros en áreas cercanas al poblado de La Victoria, Río Frío. Los dos tipos de estructuras de las cercas muestreadas fueron: (1) cercas vivas estructuralmente complejas ("cercas vivas complejas"), las cuales tenían postes con diámetros de fuste a la altura del pecho (dap) mayores de 10 cm, un ancho promedio de la extensión de la copa mayor de 4 m, y una altura promedio mayor de 6 m; y (2) cercas con una estructura simple ("cercas vivas simples"), las cuales tenían postes con dap menores a los 10 cm, un ancho de la extensión de la copa promedio menor de 4 m y una altura promedio menor de 6 m.

Las cercas vivas simples habían sido podadas en el pasado, mientras que las cercas vivas complejas no habían sido podadas recientemente; algunas, inclusive, llevaban más de 30 años sin podar. En las cercas complejas había más variedad de epifitas, bromelias, enredaderas y lianas.

### Conteos de aves

Se caracterizaron las comunidades de aves utilizando puntos de conteo, ubicando cinco puntos, distanciados por 50 m uno de otro, por cerca. Los puntos de conteo fueron observados por 10 minutos (Estrada *et al.* 2000) y se registraron todas las aves presentes en las cercas vivas. Cada cerca fue muestreada cinco veces para el registro de aves, entre junio y agosto del 2003, con cua-



Cercas vivas simples en Río Frío, Costa Rica (proyecto FRAGMENT 2003).

tro visitas en la mañana y una visita por la tarde. Los conteos se realizaron entre las 6:00 y 11:00 h y entre las 15:00 h y la puesta del sol. Las aves observadas fueron caracterizadas con respecto a gremios alimenticios y de hábitat, con base en Stiles y Skutch (1989).

### Caracterización de la vegetación en cercas vivas

En seis cercas vivas de cada tipo, donde se hicieron las observaciones de aves, se realizó un inventario completo de los árboles presentes en la longitud total de la cerca viva y se registró la composición de especies, la densidad de árboles, el dap y la extensión horizontal de la copa por árbol. Las cercas vivas se caracterizaron con base en los promedios de dap, la altura y la extensión de las copas.

### Análisis de datos

Se comparó la abundancia, riqueza y diversidad de las especies de aves en los dos tipos de cercas vivas mediante un análisis de varianza (InfoStat/Professional Version 1.1 y Minitab 13.1). En los casos en que los datos no fueron distribuidos normalmente, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los índices de diversidad de Simpson y Shannon fueron calculados utilizando Biodiversity Pro Version 2. Se utilizaron análisis de regresión simple para explorar las relaciones entre las características estructurales de las cercas vivas (altura, diámetro promedio y ancho de copa) y las comunidades de aves (abundancia, riqueza y diversidad de Shannon). La similitud entre las comunidades de aves presentes en los dos tipos de cercas vivas se evaluó utilizando el índice de similitud de Jaccard.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estructura de la vegetación de las cercas vivas

Los dos tipos de cercas vivas fueron significativamente diferentes en su estructura vegetativa. Las cercas complejas tuvieron mayores dap ( $p < 0,0001$ ), altura ( $p = 0,0059$ ) y extensión de la copa de los árboles ( $p = 0,0003$ ) que las cercas simples (Cuadro 1); sin embargo, la densidad de árboles vivos fue similar entre los dos tipos de cercas. La composición de especies de las cercas fue principalmente *E. costaricensis* o *G. sepium* o, más comúnmente, una mezcla de ambas. Las cercas complejas tenían además otras especies de árboles, como guayaba (*Psidium guajava*), y *Citrus* spp. La presencia de epifitas, enredaderas y bromelias fue mayor en las cercas complejas.

**Cuadro 1.** Comparación entre los dos tipos de cercas vivas muestreados en Río Frío, Costa Rica.

Variable	Tipo de cerca viva	
	Compleja (n = 6)	Simple (n = 6)
dap promedio (cm)	16,8 (1,2) a	6,9 (0,4) b
Altura promedio (m)	9,7 (1,6) a	4,1 (0,4) b
Extensión de la copa promedio (m)	6,4 (0,8) a	2,1 (0,2) b
Densidad de árboles vivos (individuos km <sup>-1</sup> )	504,2 (29,5) a	530,1 (67,4) a

Los valores en paréntesis corresponden al error estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,01$ ).

### Caracterización general de las comunidades de aves en cercas vivas

Se registró un total de 1548 individuos de 92 especies de aves en cercas vivas durante el período del estudio (Cuadro 2). El 73% de los individuos y el 88% de las especies fueron registrados en las cercas complejas.

El 62% de los individuos observados pertenecieron a 10 especies de aves (*Sporophila aurita*, *Todirostrum cinereum*, *Crotophaga sulcirostris*, *Ramphocelus passerinii*, *Troglodytes aedon*, *Thraupis episcopus*, *Myiozetetes similis*, *Contopus cinereus*, *Volatina jacarina* y varias especies de colibríes). *S. aurita* (16,8%), *T. cinereum* (9,0%), *C. sulcirostris* (8,3%) y *R. passerinii* (5,2%) fueron las especies con mayor número de individuos registrados (39% en total).

*S. aurita*, la especie más común del estudio, está asociada con hábitats agrícolas abiertos, ya que se alimenta principalmente de semillas del suelo y otras especies de malezas (Stiles y Skutch 1989), y que parece haber sido favorecida por la apertura del hábitat causada por la deforestación y el incremento de las áreas de pasturas. Muchas de las demás especies comunes (*T. cinereum*, *C. sulcirostris*, *R. passerinii*, *T. aedon*, *T. episcopus*, *M. similis*, *V. jacarina*, especies de colibríes y *C. cinereus*) también están asociadas principalmente con hábitats creados por la deforestación.

La mayoría de las aves observadas fueron insectívoras (30,0%), seguidas de las granívoras (24,1%) y frugívoras (13,4 %). El 40,5% de las aves observadas se clasifican como especies que utilizan áreas agrícolas abiertas; el 37,9% fueron especies típicas de bordes de bosques o bosques secundarios; el 10,7% especies que utilizan los doseles de bosques primarios, y el 4,0% especies generalistas.

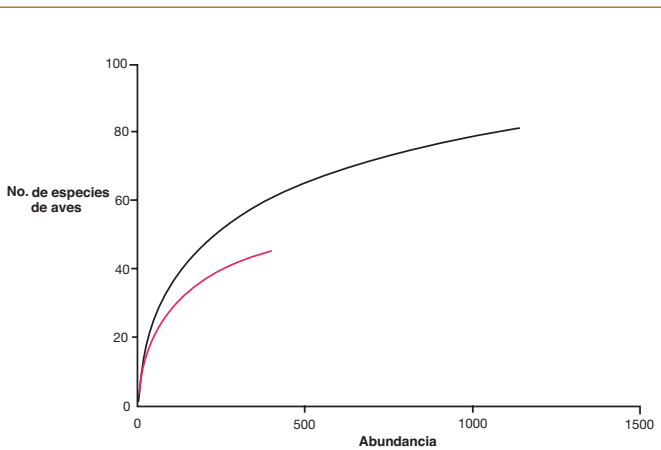
**Comparación de comunidades de aves entre cercas vivas complejas y simples**

Un total de 1141 individuos de aves de 81 especies se registraron en las cercas vivas complejas, comparado con 407 individuos de 45 especies en las cercas vivas simples (Cuadro 2). Se encontraron más individuos (Kruskal-Wallis,  $p = 0,0002$ ) y más especies ( $p < 0,0001$ ) en las cercas complejas que en las simples. Además, las curvas de acumulación de especies muestran que las cercas complejas acumulan nuevas especies de aves más rápidamente que las cercas simples (Figura 1).

**Cuadro 2.** Comparación de las comunidades de aves en dos tipos de cercas vivas en Río Frío, Costa Rica.

	Tipo de cerca viva		Total
	Compleja (n = 8)	Simple (n = 8)	
Especies de aves	81	45	92
Número de individuos	1141	407	1548
Índices de diversidad (para ocho réplicas combinadas)			
Índice de Shannon	1,49 a	1,34 b	
Índice de Simpson	0,06 a	0,07 a	

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,01$ ).

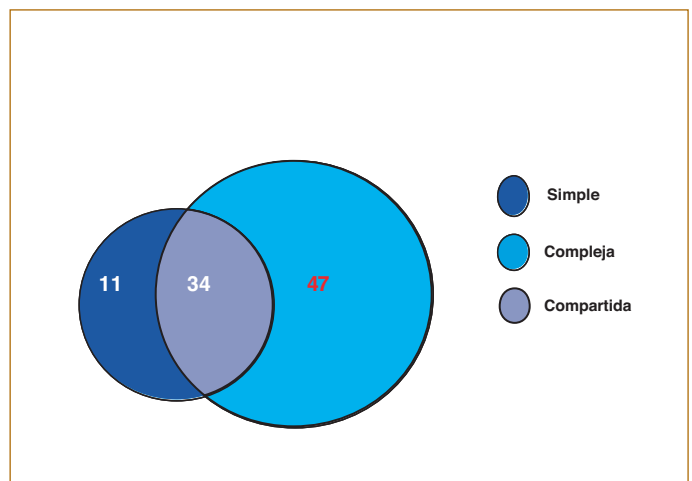


**Figura 1.** Curvas de rarefacción de riqueza de especies para las cercas complejas (curva negra) y las cercas simples (curva roja) en Río Frío, Costa Rica.

Las cercas vivas pueden ser elementos importantes para la conservación de paisajes agropecuarios, ya que un gran número de aves de muchas especies utiliza estos sistemas en Río Frío. Las curvas de acumulación indican que, con un mayor tiempo y esfuerzo de muestreo, es

posible encontrar aún más especies. Las aves visitan las cercas vivas para obtener alimento (néctar, frutos e insectos), refugio para anidar, sitios de percha y protección de los depredadores. Además, algunas especies parecen utilizar las cercas vivas para moverse a través de áreas agrícolas y ganaderas. Aunque la importancia de cercas vivas, setos y cortinas rompevientos para la conservación de aves y otros animales silvestres ha sido bien documentada en zonas templadas (p. ej., Hinsley y Bellamy 2000), este es uno de los pocos estudios que demuestra esta función de las cercas vivas en Centroamérica.

Las cercas complejas tuvieron un mayor índice de diversidad de Shannon ( $p = 0,0016$ ) que las cercas simples; sin embargo, no hubo diferencia significativa entre las cercas complejas y simples en su promedio del índice de diversidad de Simpson ( $p = 0,2369$ ). El índice de similitud de Jaccard de ambas comunidades fue de 0,37, lo cual muestra que solamente una tercera parte de las especies fue compartida por los dos tipos de cercas vivas (Figura 2). Esto indica que ambos tipos de cercas proveen fuentes de hábitat diferentes y atraen diferentes comunidades de aves. Una diferencia importante es que muchas de las especies de las cercas complejas (26) fueron especies de bosque que visitan los doseles de los árboles, y que, además, estuvieron ausentes o presentes en muy bajas densidades en las cercas simples, probablemente debido a su baja altura.



**Figura 2.** Diagrama Venn representando el número de especies compartidas y las exclusivas de las cercas complejas y simples de las observaciones hechas en Río Frío, Costa Rica.

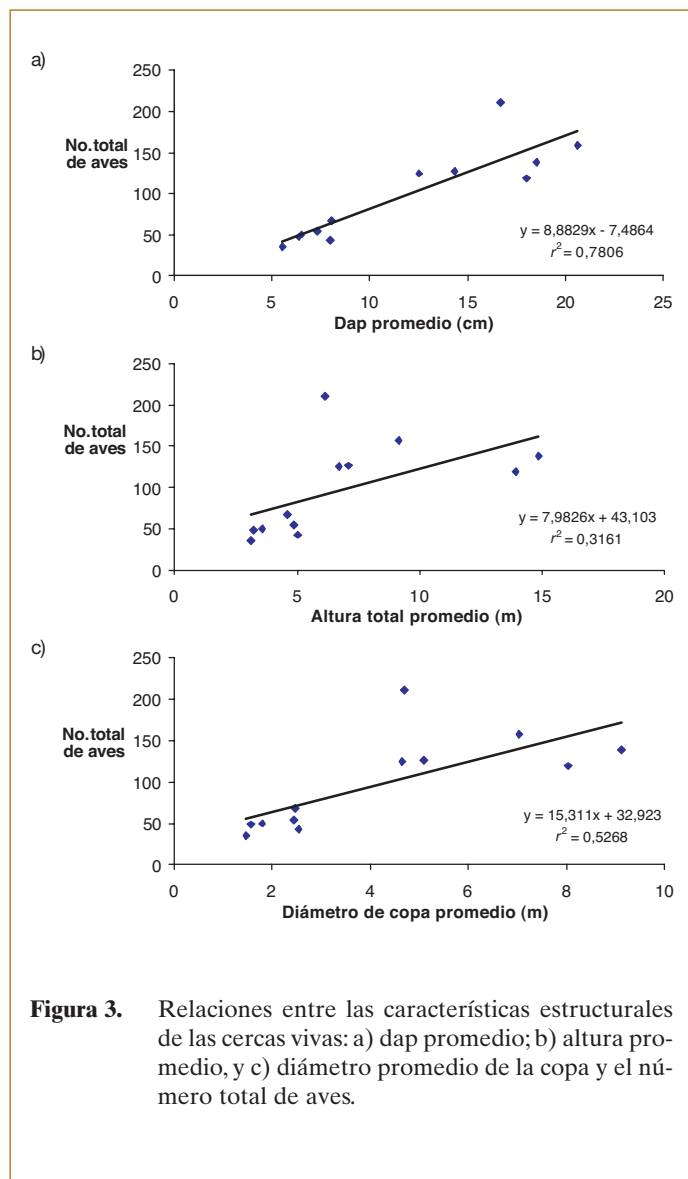


La especie más común en ambos tipos de cercas vivas fue *S. aurita*, que representó el 16,7 y 17,2% de los individuos registrados en las cercas complejas y simples, respectivamente. En ambos tipos de cercas vivas hubo dominancia de pocas especies de aves; las diez especies más comunes representaron el 63,0 y 69,5% de los individuos en cercas complejas y cercas simples, respectivamente (Cuadro 3).

**Relaciones entre la estructura de la vegetación y la abundancia, riqueza y diversidad aviar**

Se encontraron relaciones positivas entre la estructura de la vegetación y la abundancia, el número de especies y la diversidad de aves (índice de Shannon; Figuras 3, 4 y 5). La estructura de la vegetación explicó entre el 31 y 91% de la variación de abundancia, riqueza y diversidad aviar. Las relaciones más fuertes fueron entre el dap promedio y el número de especies ( $r^2 = 0,91$ ) y de individuos ( $r^2 = 0,78$ ), y la extensión promedio de la copa y el número de especies de aves ( $r^2 = 0,79$ ).

La estructura de las cercas vivas tiene un efecto importante sobre la abundancia, riqueza y diversidad de aves que las utilizan. Cuanto mayor es la complejidad de las cercas vivas, mayores serán la abundancia, riqueza de especies y diversidad de aves. Igualmente, a mayor tamaño de los árboles de las cortinas (dap, altura y copa), hay mayor abundancia y más especies de aves. Estas relaciones se deben a que los árboles viejos, grandes y menos manejados proveen un recurso potencial mayor con una fauna invertebrada más desarrollada, huecos y cavidades para anidar, epifitas y plantas parasíticas que proveen recursos adicionales y copas más extensas que ofrecen más sitios para perchar, anidar y cantar.

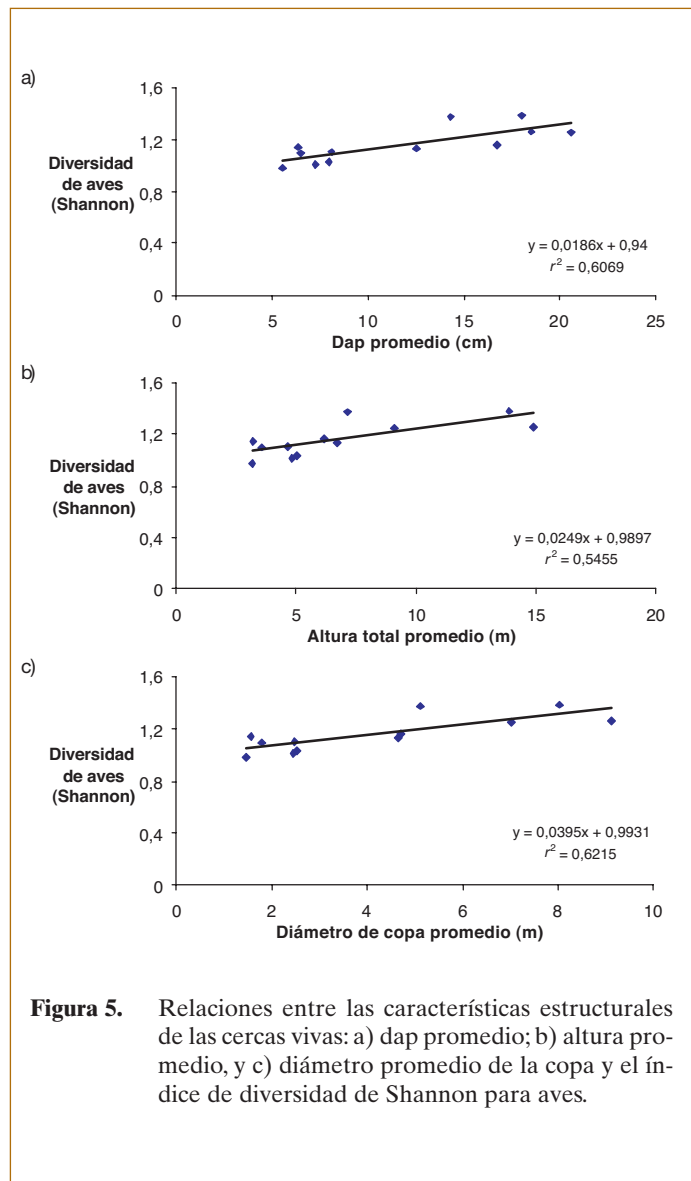
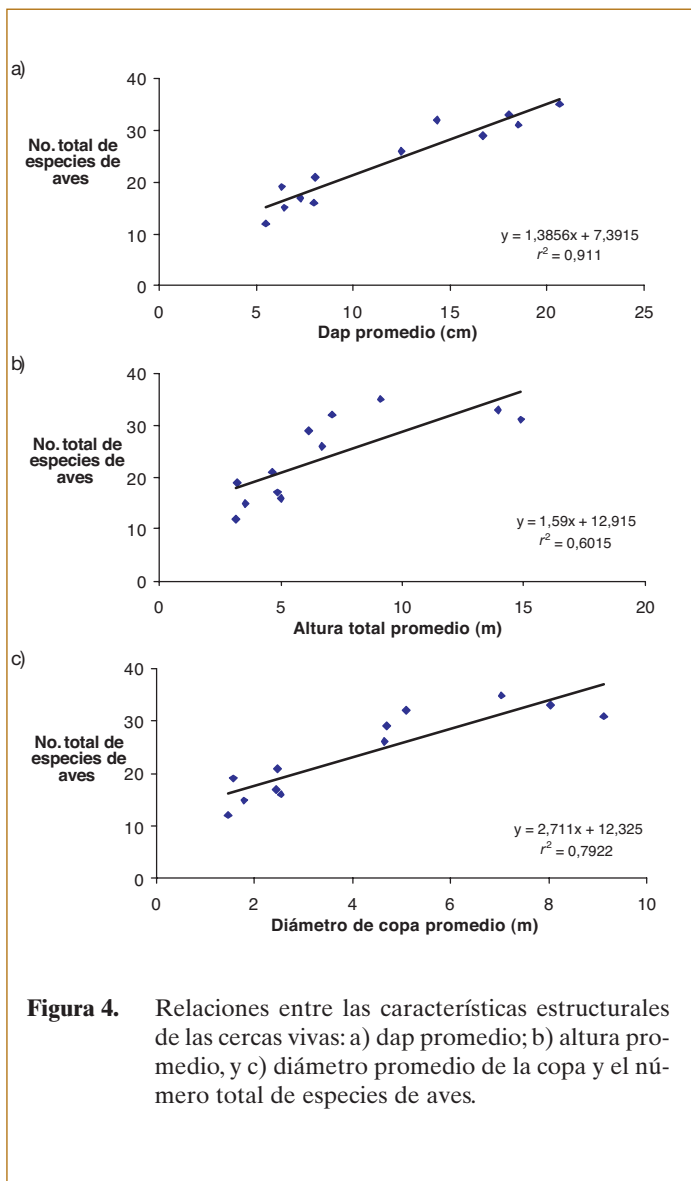


**Figura 3.** Relaciones entre las características estructurales de las cercas vivas: a) dap promedio; b) altura promedio, y c) diámetro promedio de la copa y el número total de aves.

**Cuadro 3.** Abundancia de las diez especies de aves más comunes observadas en las cercas vivas de Río Frío, Costa Rica.

Cercas complejas (n = 8)		Cercas simples (n = 8)	
Especie	Abundancia	Especie	Abundancia
<i>Sporophila aurita</i>	190	<i>S. aurita</i>	70
<i>Todirostrum cinereum</i>	113	<i>C. sulcirostris</i>	59
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	69	<i>Myiozetetes similis</i>	29
<i>Ramphocelus passerinii</i>	61	<i>T. cinereum</i>	27
<i>Thraupis episcopus</i>	59	<i>T. aedon</i>	20
<i>Troglodytes aedon</i>	55	<i>R. passerinii</i>	19
<i>Contopus cinereus</i>	48	<i>Caryothraustes poliogaster</i>	18
(especie de colibríes)	44	<i>Tyrannus melancholicus</i>	17
<i>Turdus grayi</i>	43	<i>V. jacarina</i>	13
<i>Volatina jacarina</i>	37	<i>Tangara larvata</i>	11

Especies sombreadas son comunes a ambos tipos de cercas vivas.



Las diferencias en la estructura de las cercas vivas se deben a una combinación de diferencias en su edad y manejo. El manejo de las cercas vivas varía en términos de forma, frecuencia y tipo de poda (parcial o total); estas diferencias determinan también la estructura y composición de las cercas vivas. En Río Frío, la mayoría de los productores podan sus cercas vivas por lo menos una vez al año, haciendo que cambie la estructura de la cerca y ejerciendo un efecto negativo sobre la comunidad de aves que la puede utilizar.

### CONCLUSIONES

Las cercas vivas son importantes para mantener la diversidad aviar en paisajes ganaderos, y su estructura influye en las comunidades aviares asociadas. La utilidad

de las cercas vivas para la conservación se puede maximizar reduciendo su poda, evitando las podas totales y permitiendo que los árboles crezcan y, en lo posible, diversificando las cercas con más especies arbóreas que provean frutos o recursos para las aves. Sin embargo, aunque sea beneficioso para las comunidades aviares, la adopción de estas medidas podría causar problemas prácticos para los productores, ya que las cercas vivas con árboles más grandes afectan mayores áreas de pasto con sombra, y las cercas diversificadas pueden ser más difíciles de establecer y manejar. Por tal razón, es importante que los conservacionistas trabajen estrechamente con los productores y las autoridades de la región para ofrecer mejores recomendaciones prácticas para el manejo de las cercas vivas, orientadas a su integración



Las cercas vivas pueden servir de perchas y lugares de paso para las aves entre parches de bosques (proyecto FRAGMENT 2003).

en el sistema productivo y la conservación de la biodiversidad. Asimismo, es importante, explorar mecanismos para incentivar el uso y el manejo de las cercas vivas para la conservación.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo del proyecto FRAGMENT; al programa de intercambio UWB/CATIE por proveer la oportunidad de realizar esta investigación en Costa Rica, y a las personas de La Victoria por aceptar al autor principal dentro de su comunidad, especialmente a todos los productores que permitieron realizar el estudio en sus fincas. Se agradece también a Patricia Hernández por la traducción de este artículo, a Diego Muñoz por su ayuda con las figuras y a Mario Chacón por la revisión del artículo.

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen

### BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Baudry, J; Bunce, RGH; Burel, F. 2000. Hedgerows: an international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management* 60: 7-22.
- Biodiversity Pro Version 2. Neil McAleece, Natural History Museum UK y The Scottish Association for Marine Sciences.
- Budowski, G; Russo, RO. 1993. Live fence posts in Costa Rica: a compilation of farmer's beliefs and technologies. *Journal of Sustainable Agriculture* 3(2): 65-87.
- Burel, F. 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 15(2): 169-190.
- Estrada, A; Coates-Estrada, R; Cammarano, P. 2000. Bird species richness in vegetation fences and in strips of residual rain forest vegetation at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 9: 1399- 416.
- Harvey, CA; Haber, WH. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44: 37-68.
- Hinsley, SA; Bellamy, PE. 2000. The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: a review. *Journal of Environmental Management* 60: 33-49.
- Info Stat/Professional Version 1.1. Córdoba, AR, Universidad Nacional de Córdoba Estadística y Diseño FCA.
- Laurance, WF; Bierregaard, RO. 1997. Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities. Estados Unidos, The University of Chicago Press. 616 P.
- Renjifo, LM. 1999. Composition changes in a subandean avifauna after long-term forest fragmentation. *Conservation Biology* 13: 1124-1139.
- Stiles, FG; Skutch, AF. 1989. A Guide to the Birds of Costa Rica. London, UK, Chistopher Helm. 511 p.
- Villacis, J. 2003. Caracterización de la cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en la zona de Río Frío, Costa Rica. Mag. Sc. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 129 p.

## Avances de investigación

# Abundancia y diversidad de escarabajos coprófagos y mariposas diurnas en un paisaje ganadero en el departamento de Rivas, Nicaragua

**Blas Hernández<sup>1</sup>; Jean-Michel Maes<sup>2</sup>; Celia A. Harvey<sup>3</sup>; Sergio Vílchez<sup>1</sup>; Arnulfo Medina<sup>1</sup>; Dalia Sánchez<sup>1</sup>**

**Palabras claves:** bosques riparios; bosques secundarios; cercas vivas; charrales; cobertura arbórea; potreros.

### RESUMEN

Generalmente, los paisajes ganaderos son mosaicos complejos de potreros, campos agrícolas, fragmentos de bosque, y otros tipos de cobertura arbórea. Para conocer el valor de estos paisajes para la conservación de la biodiversidad, se caracterizó la diversidad de escarabajos coprófagos y mariposas diurnas en un paisaje ganadero de Rivas, Nicaragua. Además, se comparó la abundancia, riqueza y diversidad de escarabajos y mariposas en diferentes tipos de hábitat (bosques secundarios, bosques riparios, charrales, cercas vivas, y potreros con alta y baja cobertura arbórea) en este paisaje para evaluar la importancia de diferentes hábitats para la conservación. Se muestrearon un total de 48 parcelas, con ocho parcelas por tipo de hábitat, utilizando trampas *pitfall* para muestrear escarabajos y redes entomológicas para muestrear mariposas. Se recolectaron 15679 individuos de 33 especies de escarabajos coprófagos, de las cuales las más abundantes fueron *Copris lugubris*, *Onthophagus batesi* y *Ateuchus rodriguezii*. Además, se recolectaron 559 individuos de mariposas diurnas de 50 especies, de las cuales las más abundantes fueron *Phoebis sennae*, *Heliconius charitonius*, *Euptoieta hegesia* y *Eurema daira*. No hubo diferencias entre los hábitats en la abundancia y riqueza de escarabajos, ni en la riqueza de especies, diversidad o equitatividad de mariposas. En cambio, hubo algunas diferencias en la diversidad y uniformidad de escarabajos, y en la abundancia de mariposas entre hábitats. También existieron diferencias importantes en la composición de especies entre hábitats, con más especies típicas de bosque presentes en los hábitats más boscosos (bosques secundarios, bosques riparios y charrales).

**Abundance and diversity of coprophagous beetles and diurnal butterflies in a cattle landscape in the department of Rivas, Nicaragua**

**Key words:** Charrals, live fences, pastures, riparian forests, secondary forests, tree cover.

### ABSTRACT

Pastoral landscapes are complex mosaics of pastures, crop fields, forest fragments and other types of tree cover. In order to assess the value of these landscapes for biodiversity conservation, the diversity of dung beetles and butterflies was characterized in a pastoral landscape in Rivas, Nicaragua. In addition, the abundance, species richness, and diversity of dung beetles and butterflies were compared across different habitat types (secondary forest, riparian forest, forest fallows, live fences, pastures with high tree cover and pastures with low tree cover) to determine the relative importance for conservation of different habitats. A total of 48 parcels were surveyed (eight per habitat type), using pitfall traps to capture dung beetles and entomological nets to capture butterflies. A total of 15679 dung beetles of 33 species were collected, of which the most abundant were *Copris lugubris*, *Onthophagus batesi* and *Ateuchus rodriguezii*. In addition, a total of 559 butterflies of 50 species were collected, of which the most abundant were *Phoebis sennae*, *Heliconius charitonius*, *Euptoieta hegesia* and *Eurema daira*. There were no differences in abundance or species richness of dung beetles across habitats or in species richness, diversity and equitativity of butterflies. However, there were some differences among habitats in the diversity and equitativity of dung beetles, and in the abundance of butterflies. There were also important differences in the composition of species present in each habitat, with more species typical of forest habitats occurring primarily in the habitats with higher tree cover (secondary forests, riparian forest and forest fallows).

## INTRODUCCIÓN

La transformación gradual de bosques a pasturas y tierras agrícolas ha tenido profundos impactos ecológicos en la región centroamericana, al reducir la disponibili-

dad de hábitats y alimento para animales y plantas, interrumpir la conectividad del paisaje y perturbar las funciones de los ecosistemas. Como la alteración de los

<sup>1</sup> Fundación Nicaragüense para la Conservación (Fundación Cocibolca), Managua, Nicaragua. Correos electrónicos: reise3us@yahoo.com; tipitapa13@hotmail.com; arfitoria@hotmail.com; dsanchez@hotmail.com

<sup>2</sup> Museo Entomológico, León, Nicaragua. Correo electrónico: jmmaes@ibw.com.ni

<sup>3</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: charvey@catie.ac.cr (autor para correspondencia).

ecosistemas naturales no siempre es total, con frecuencia el resultado es un mosaico compuesto por remanentes del hábitat original en medio de una matriz de ambientes antropogénicos, donde aún persisten algunas especies propias de áreas conservadas. Muchos de estos paisajes agropecuarios todavía mantienen alguna cobertura arbórea (fragmentos de bosque, árboles dispersos, cercas vivas, etc.), la cual puede servir como refugio para una buena porción de la flora y fauna, albergando una muestra de la biodiversidad original.

Aunque generalmente se ha asumido que estos paisajes agrícolas tienen poco valor de conservación, estudios recientes indican que una proporción considerable de la biodiversidad original puede persistir dentro de dichos paisajes, si estos retienen una cantidad suficiente de cobertura arbórea y el paisaje mantiene un cierto grado de conectividad (Daily *et al.* 2001, Harvey *et al.* 2004). Sin embargo, hay relativamente poca información sobre cuáles organismos permanecen en los paisajes agrícolas y de qué manera contribuyen los distintos tipos de cobertura arbórea a la conservación de la biodiversidad.

Los escarabajos coprófagos, conocidos también como escarabajos estercoleros, pertenecientes a la familia Scarabaeidae, son considerados como un grupo importante para la evaluación de los cambios producidos por la actividad antropogénica en ecosistemas naturales, debido a su sensibilidad a los cambios en el ecosistema y a la facilidad para estandarizar los métodos de su recolección (Klein 1989, Halfpeter y Matthew 1996). Además, cumplen un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas, por su estrecha relación con los mamíferos (silvestres y domésticos), pues dependen de sus excrementos para su alimentación y nidificación.

El grupo de mariposas es de gran importancia en el ecosistema, por sus roles ecológicos (herbívoro y polinización) y porque puede ser sensible a cambios en la vegetación y la cobertura arbórea (Brown y Hutching 1997). Muchas especies de mariposas son afectadas negativamente por la reducción y aislamiento de fragmentos de bosque (y, con ello, la reducción en la diversidad de flora necesaria para el hospedaje, alimentación y reproducción de muchas especies) y por el uso intensivo de pesticidas en las fincas agrícolas circundantes.

El objetivo de este estudio fue caracterizar la biodiversidad (mariposas y escarabajos estercoleros) presentes en un paisaje agrícola de Rivas (Nicaragua), y comparar el valor de la conservación de diferentes tipos de cober-

tura arbórea (que abarca desde pasturas con árboles dispersos hasta cercas vivas, charrales y parches de bosque). Este estudio también brinda información taxonómica sobre la entomofauna de Nicaragua, la cual está poco documentada.



*Heliconius charithonius* (Jean-Michel Maes).

## MATERIALES Y MÉTODOS

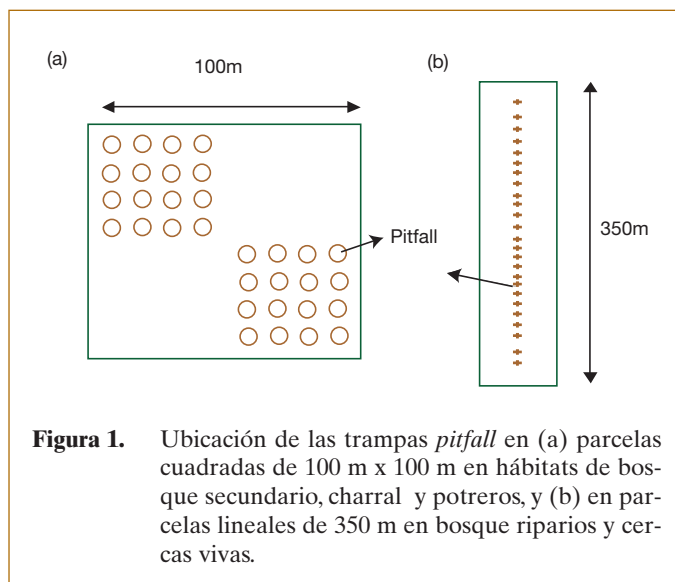
El estudio se realizó de mayo del 2003 a enero del 2004, en un paisaje de 11620 ha en el municipio de Belén, departamento de Rivas, en el suroeste de Nicaragua. Esta localidad fue seleccionada por ser representativa de los paisajes ganaderos de la costa pacífica del país, siendo un mosaico dominado por pasturas, con algunos parches pequeños de cultivos agrícolas y bosque. Las fincas ganaderas aún retienen alguna cobertura arbórea en la forma de árboles dispersos (generalmente en densidades bajas, con 16,2 árboles ha<sup>-1</sup>, en promedio; López *et al.* 2004), cercas vivas aisladas y pequeños parches de bosque (generalmente < 5 ha). La zona de vida es Bosque Seco Tropical (Holdridge 1978), con una temperatura media anual de alrededor de 27 °C y precipitación promedio de 1400 mm año<sup>-1</sup> (INETER 2000). La elevación va de 100 a 200 msnm y se presentan suelos vertisoles y molisoles.

Se seleccionaron seis tipos de hábitats principales en el paisaje: bosques secundarios (BS), bosques riparios (BR), charrales (CH), cercas vivas (CV), potreros de alta cobertura arbórea (PAC, 16-25% de cobertura arbórea) y potreros de baja cobertura arbórea (PBC, 0-5% de cobertura arbórea), con base en la interpretación de una foto aérea (año 1996). De cada tipo de hábitat, se

seleccionaron al azar ocho parcelas, para un total de 48 parcelas. En cada parcela seleccionada, se utilizó una parcela de muestreo temporal para estudiar las comunidades de escarabajos y mariposas presentes.

### Escarabajos

En cada uno de los hábitats no lineales (BS, CH, PAC y PBC) se estableció una parcela de 1 ha (100 m X 100 m), en la cual se colocaron dos grillas de 16 trampas *pitfall* en cuadrantes opuestos (32 en total) en el centro de la parcela, con una distancia entre trampas de 7 m (Figura 1a). En el caso de los hábitats lineales (BR y CV), las 32 trampas se colocaron en una línea con 7 m entre sí (Figura 1b). Las trampas permanecieron abiertas durante dos días consecutivos y fueron revisadas periódicamente cada 12 horas. El cebo utilizado para la captura de escarabajos fue estiércol fresco de cerdo. Los escarabajos recolectados se conservaron en alcohol al 90%, para su posterior identificación en el Museo Entomológico de León (Howden 1981, Maes 1999).

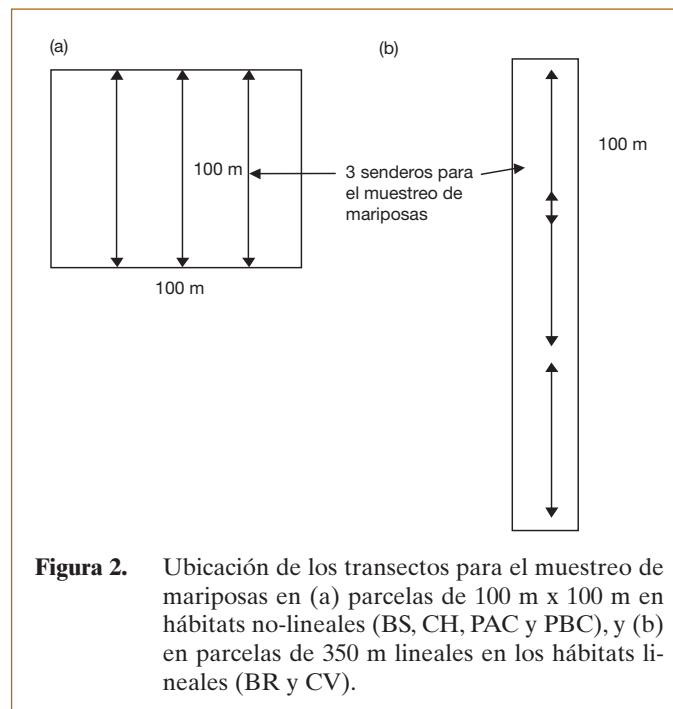


**Figura 1.** Ubicación de las trampas *pitfall* en (a) parcelas cuadradas de 100 m x 100 m en hábitats de bosque secundario, charral y potreros, y (b) en parcelas lineales de 350 m en bosque riparios y cercas vivas.

### Mariposas

En cada uno de las hábitats no lineales —BS, CH, PAC y PBC— se establecieron tres transectos perpendiculares, de 100 m cada uno, a una distancia de 25 m entre ellos dentro de la parcela de 1 ha (para un total de 300 m de transectos por parcela; Figura 2a). En el caso de los hábitats lineales (BR y CV), se establecieron tres transectos de 100 m continuos (i.e. 300 transectos en total), perpendiculares al curso del río o la cerca viva (Figura 2b). Cada transecto se recorrió por las mañanas durante 30 minutos, por dos días efectivos de muestreo (para un total de tres horas de muestreo por parcela). Las mariposas se capturaron utilizando un jamo en los

diferentes transectos, tomando un ancho máximo de 2 m. Las mariposas recolectadas se identificaron en el Museo Entomológico de León y se agruparon según su gremio alimenticio y uso de hábitat de acuerdo con DeVries (1987) y Maes y Brabant (2000).



**Figura 2.** Ubicación de los transectos para el muestreo de mariposas en (a) parcelas de 100 m x 100 m en hábitats no-lineales (BS, CH, PAC y PBC), y (b) en parcelas de 350 m lineales en los hábitats lineales (BR y CV).

### Análisis de datos

En cada parcela, se contabilizaron por separado el número de especies ( $S$ ) e individuos totales ( $N$ ) capturados de mariposas y escarabajos y se calcularon los índices de diversidad de Shannon ( $H'$ ) y de equitatividad ( $E$ ), utilizando el programa DIVERS (Franja 1993). Asimismo, se calculó para cada parcela el número de individuos y de especies de mariposas, según su hábitat (especies de áreas cerradas, de áreas abiertas y generalistas) y su gremio alimenticio (frugívoro o nectarívoro).

Se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Duncan, con hábitat como tratamientos y número de especies e individuos e índices de diversidad como variables respuesta, para determinar las diferencias entre las variables evaluadas. Antes de realizar los análisis de varianza, se revisó la normalidad de los datos; aquellos sin una distribución normal fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Se construyeron también curvas de acumulación de especies por cada hábitat y se comparó la composición de especies encontradas en cada tipo de cobertura mediante el coeficiente de similitud de Jac-

card y el análisis de cluster con base en este índice. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con InfoStat versión 1.1.

## RESULTADOS

### Escarabajos

Se recolectó un total de 15679 individuos de 33 especies de escarabajos coprófagos (Recuadro 1), entre las cuales se encuentra un nuevo registro para la entomofauna de Nicaragua: la especie *Malagoniella astyanax*.

Los géneros más representativos fueron *Canthon* y *Onthophagus*, representados por cinco especies cada uno. Seis especies fueron las más abundantes en el paisaje, constituyendo el 80% de las capturas: *Copris lugubris*, *Onthophagus batesi*, *Ateuchus rodriguezii*, *Onthophagus landolti*, *Dichotomius yucatanus* y *Onthophagus championi* (con el 23, 20, 15, 8, 8 y 7% de los individuos, respectivamente). En cambio, algunas especies de coleópteros estercoleros, como las tres especies del género *Uroxys*, *Coprophanaeus telamon corythus*, *Ataenius* sp., *Canthidium perceptibile*, *Trox suberosus*, *Sulcophanaeus cupricollis* y *Canthon euryscelis* fueron muy poco comunes, representando apenas el 0,3 % del total de capturas. Del total de especies registradas, 11 fueron capturadas en todos los tipos de hábitat (Recuadro 1).

Todas las especies recolectadas suelen ser comunes en hábitats fragmentados; sin embargo, especies como *Phaneus pyrois*, *S. cupricollis*, *Onthophagus acuminatus*, *C. perceptibile* y *Ataenius* sp. parecen preferir hábitats con cobertura vegetal suficiente, que les provean de refugio y alimento, ya que el 98,7% de los individuos de estas especies fueron encontradas únicamente en los hábitats con alguna cobertura vegetal (bosque secundario, charrales y bosque ripario; Recuadro 1). Además, hubo otras especies —como *A. rodriguezii*, *Canthidium*

*pseudopuncticolle*, *Deltochilum lobipes*, *Dichotomius centralis* y *O. landolti*—que eran mucho más abundantes en los hábitats con mayor cobertura arbórea.

### Comparaciones en las comunidades de escarabajos entre hábitats

El número de escarabajos capturados varió de 1790 a 3626 por hábitat, mientras que el número de especies varió de 21 a 29 por hábitat (Cuadro 1). Las curvas de acumulación mostraron que, en todos los hábitats, hay una tendencia a registrar más especies si se aumenta el número de réplicas; por lo tanto, es probable que la riqueza total de escarabajos en los hábitats y en este paisaje sea mayor a la encontrada.

No hubo diferencias en el número de especies y las abundancias de escarabajos entre los seis tipos de hábitat (Cuadro 1). Sin embargo, hubo diferencias en los índices de diversidad de Shannon ( $p = 0,026$ ) y equitatividad ( $p = 0,0096$ ; Cuadro 1). Los charrales y potreros de baja cobertura arbórea fueron más diversos y presentaron una mayor equitatividad que las cercas vivas.

El análisis de *cluster* (utilizando el índice de similitud de Jaccard) mostró dos grupos principales (Figura 3). El primero está conformado por el charral y el bosque secundario (que comparten el 70% de las especies), y el segundo por los potreros —de alta y baja cobertura—, las cercas vivas y los bosques riparios. En este segundo grupo, los dos tipos de potreros son muy semejantes, ya que comparten el 78% de las especies.

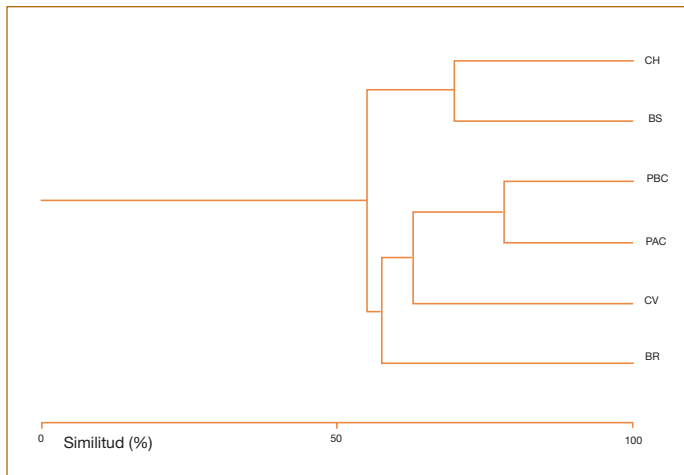
### Mariposas

Se registraron 559 individuos de mariposas diurnas, pertenecientes a tres familias (Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae), representadas por 50 especies (Recuadro 2), y se recolectó un nuevo registro para la

**Cuadro 1.** Comparación de la abundancia, riqueza, diversidad y equitatividad de escarabajos coprófagos por hábitat en Rivas, Nicaragua ( $n = 8$  réplicas/hábitat).

Variable	BS	BR	CH	CV	PAC	PBC	Total
Número total de individuos	3626	2567	2878	2524	2294	1790	15679
Número total de especies	29	24	29	25	25	21	33
Número de especies promedio	12,62 a	8,75 a	10,5 a	9,25 a	9,25 a	5,25 a	—
Número de individuos promedio	453,3 a	319,4 a	359,8 a	315,5	287,9 a	223,8 a	—
Índice de Shannon promedio	1,33 ab	1,34 ab	1,64 a	0,94 b	1,44 ab	1,68 a	—
Índice de equitatividad promedio	0,55 ab	0,60 ab	0,73 a	0,48 b	0,60 ab	0,73 a	—

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). BS= bosque secundario; BR= bosque ripario; CH= charral; CV= cercas vivas; PAC= potrero de alta cobertura arbórea, y PBC= potrero de baja cobertura arbórea.



**Figura 3.** Análisis de *cluster* de las comunidades de escarabajos en Rivas, Nicaragua, con base en los índices de similaridad de Jaccard. BS= bosque secundario; BR= bosque ripario; CH= charral, CV= cercas vivas; PAC= potrero de alta cobertura arbórea, y PBC= potrero de baja cobertura arbórea.

entomofauna de Nicaragua: *Eunica malvina*. Las especies de mariposas más abundantes en todo el paisaje fueron: *Phoebis sennae*, *Heliconius charitonius*, *Euptoieta hegesia*, *Eurema daira*, *Dryas iulia*, *Heliconius hecale zuleika*, *Myscelia pattenia* y *Vareuptychia similis* (con el 22, 6, 5, 5, 4, 4, 4 y 4% de los individuos, respectivamente). La familia más representada fue Nymphalidae, con 44% del total de especies de mariposas.

Ocho especies fueron capturadas en todos los tipos de hábitats: *Dryadula phaetusa*, *E. daira*, *Eurema proterpia*, *H. charitonius*, *H. hecales zuleika*, *P. sennae*, *Siproeta stelene* y *V. similis*. Por otro lado, diez especies fueron representadas por un solo ejemplar: *Anaea aidea*, *Anteos clorinde*, *Biblis hyperia aganisa*, *D. juno*, *E. malvina*, *Eurema boisduvaliana*, *Magneuptychia libye*, *Memphis sp.* y *Mestra amymone*.

Todas las especies recolectadas suelen ser comunes en hábitats fragmentados; sin embargo, especies como *A. aidea*, *B. hyperia spp. aganisa*, *Callicore pitheas*, *D. juno*, *E. boisduvaliana*, *E. malvina*, *Hamadryas guatemalena*, *M. libye*, *Memphis sp.* y *Morpho peleides* parecen preferir hábitats con cobertura vegetal suficiente, que les provean de sitios de reproducción y alimento, ya que casi todos los individuos capturados fueron encontrados en los hábitats con mayor cobertura vegetal (bosques secundarios, charrales y bosques riparios; Recuadro 2).

*Caracterización de los ensambles taxonómicos de mariposas por hábitat*

El número de individuos capturados varió entre 68 y 97 por hábitat, mientras que el número de especies capturadas varió de 18 a 27 por hábitat (Cuadro 2). Las curvas de acumulación mostraron que, en todos los hábitats, se podrían registrar más especies si se aumenta el número de replicas; por lo tanto, la riqueza total del paisaje es probablemente mayor de la reportada aquí.

No hubo diferencias estadísticas en la riqueza, diversidad y equitatividad de mariposas entre los hábitats (Cuadro 2;  $p > 0,05$ ), pero sí en la abundancia de mariposas, con más individuos presentes en PBC que en cercas vivas. Hubo diferencias entre los hábitats en los tipos de mariposas presentes (Cuadro 3). Los charrales y bosques secundarios tuvieron un mayor número de individuos y especies frugívoras que los potreros alta y baja cobertura ( $p = 0,0036$  y  $p = 0,0034$ , respectivamente). La riqueza de mariposas nectarívoras no mostró diferencias entre hábitats, aunque hubo mayor abundancia de nectarívoras en los potreros de baja cobertura arbórea que en el bosque ripario.

Se encontraron diferencias en cuanto a la abundancia ( $p = 0,03$ ) y riqueza ( $p = 0,03$ ) de especies típicas de áreas cerradas entre hábitats. La riqueza de especies de áreas

**Cuadro 2.** Comparación de la abundancia, riqueza, diversidad y equitatividad de mariposas por hábitat en Rivas, Nicaragua ( $n = 8$  replicas/hábitat).

Variable	BS	BR CH	CV PAC	PBC	Total	Número total de individuos
Número total de especies	79	97	96	68	79	145
Número de especies promedio	23	27	26	25	22	18
Número de individuos promedio	4,87 a	7,0 a	7,25 a	5,5 a	5,87 a	6,57 a
Índice de Shannon promedio	9,25 b	12,12 ab	12,0 ab	8,5 b	9,87 b	20,71 a
Índice de equitatividad promedio	1,44 a	1,85 a	1,39 a	1,61 a	1,66 a	1,65 a
	0,93 a	0,92 a	0,781a	0,95 a	0,91 a	0,90 a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). BS= bosque secundario; BR= bosque ripario; CH= charral; CV= cercas vivas; PAC= potrero de alta cobertura arbórea, y PBC= potrero de baja cobertura arbórea.



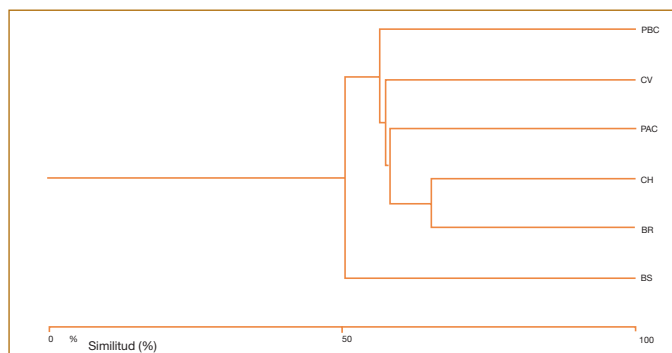
cerradas fue mayor en los bosques secundarios que en los potreros de baja cobertura, mientras que la abundancia de especies de áreas cerradas fue mayor en bosques secundarios y bosques riparios que en los potreros de baja cobertura.

El análisis de *cluster* (con base en los índices de Jaccard) mostró tres grupos de hábitats. El primer grupo se compone de bosques secundarios, con una composición distinta a los demás hábitats. Los potreros de baja y alta cobertura forman otro grupo y los bosques riparios y charrales forman el tercer grupo (Figura 4). Los hábitats con comunidades de mariposas más similares fueron los bosques riparios y charrales, con una similitud del 65%. Los menos similares fueron el bosque ripario y el potrero de alta cobertura, que compartieron solamente el 27% de las especies.

### DISCUSIÓN

#### Patrones generales de diversidad en el paisaje de Rivas

Las comunidades de escarabajos estercoleros y mariposas en el paisaje de Rivas parecen ser de baja diversidad, dominadas por especies adaptadas a hábitats abiertos y alterados. En los dos grupos estudiados, la abundancia de las especies generales fue menor que la que ocurre en los bosques secos; sin embargo, como no hay disponibilidad de datos de base para este sitio previos a la deforestación y conversión a la producción ganadera, no está claro cuánta biodiversidad se ha perdido. Por ejemplo, se piensa que puede haber entre 50 y 60 especies de escarabajos estercoleros en la vertiente del Pacífico (Maes 1999), comparadas con las 33 especies reportadas aquí. De igual manera, el número de especies de mariposas reportado aquí (50) es mucho menor al reportado en bosques secos similares en Costa Rica y otros zonas de Centroamérica (De Vries 1987). La poca



**Figura 4.** Análisis de cluster de las comunidades de mariposas entre los hábitats en el paisaje de Rivas, Nicaragua, con base en los índices de similaridad de Jaccard. BS= bosque secundario; BR= bosque ripario; CH= charral; CV= cercas vivas; PAC= potrero de alta cobertura arbórea, y PBC= potrero de baja cobertura arbórea.

riqueza de escarabajos coprófagos en este paisaje fragmentado podría deberse a la desecación del excremento causada por la alta insolación, lo que inhabilita este recurso como alimento para los Scarabaeidae, y aumenta la mortalidad de las larvas de los escarabajos estercoleros en el suelo (Fincher 1973, Halffter y Halffter 1989). Además, el pisoteo y la compactación del suelo por el ganado también pueden afectar las poblaciones de escarabajos. En cambio, la reducida diversidad de la comunidad de mariposas puede reflejar los cambios en la vegetación, especialmente en plantas hospedantes para mariposas típicas de bosque.

Ambas comunidades —escarabajos estercoleros y mariposas— fueron dominadas por unas cuantas especies adaptadas a las alteraciones típicas de paisajes fragmen-

**Cuadro 3.** Promedios de números de especies e individuos de mariposas por gremios alimenticios y por afiliación de hábitat.

Gremios		BS	BR	CH	CV	PAC	PBC
<b>Alimenticios</b>							
Frugívoros	Número de especies	2,25 ab	2,88 a	3,5 a	2,13 ab	0,50 bc	0,75 c
	Número individuos	2,75 ab	5,13 a	4,38 a	2,50 ab	0,63 b	1,25 b
Nectarívoros	Número de especies	4,63 a	1,88 a	3,63 a	3,38 a	5,38 a	4,63 a
	Número de individuos	9,25 ab	3,38 b	7,50 ab	6,0 ab	9,25 ab	15,88 a
<b>Afiliación de hábitat</b>							
Áreas abiertas	Número de especies	4,0 a	5,88 a	6,38 a	4,88 a	6,43 a	6,57 a
	Número de individuos	7,38 a	10,63 a	10,75 a	7,88 a	11,0 a	20,71 a
Áreas cerradas	Número de especies	1,13 a	0,88 ab	0,88 abc	0,63 abc	0,29 ab	0,0 c
	Número de individuos	1,5 a	1,88 a	1,25 ab	0,63 ab	0,29 ab	0,0 b

Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ). BS= bosque secundario; BR= bosque ripario; CH= charral; CV= cercas vivas; PAC= potrero de alta cobertura arbórea, y PBC= potrero de baja cobertura arbórea.

tados. Por ejemplo, las especies más comunes de escarabajos estercoleros —*C. lugubris* (23,2% de los escarabajos capturados) y *O. batesi* (19,6 % de las capturas)— parecen estar adaptadas a zonas alteradas, y otros estudios han sugerido que *C. lugubris* podría ser considerado un indicador de zonas deforestadas (Howden *et al.* 1981). De manera similar, la especie más común de mariposas (*P. sennae*) es considerada típica de áreas abiertas caracterizadas por grandes cantidades de luz (De Vries 1987). Otras mariposas comunes, como *D. iulia*, *E. दौरा*, *E. hegesia*, *H. charitoni*, *H. hecale zuleika*, *M. pattenia* y *V. similis*, son también típicas de áreas abiertas (De Vries 1987). De hecho, entre las especies de mariposas encontradas en el paisaje, el 76% son consideradas típicas de áreas abiertas.



*Phoebis sennae* (Jean-Michel Maes).

Aunque la mayoría de las especies de escarabajos estercoleros y mariposas del paisaje parecen estar adaptadas a las condiciones abiertas y alteradas, algunas especies de bosque todavía persisten en el paisaje, ocurriendo primariamente en los hábitats boscosos (BS, BR y CH). Por ejemplo, el escarabajo estercolero *P. pyrois*, típico del bosque cerrado, fue recolectado solamente en los bosques secundarios, supuestamente porque esta especie es conocida por alimentarse del estiércol de los mamíferos del bosque, tales como tepezcuintles, ratones, ratas, pizotes, monos aulladores y monos cara blanca (Young 1981), que parecen faltar en los otros hábitats. Otras especies también fueron más comunes en los hábitats boscosos que en las pasturas más abiertas. Curio-

samente, la nueva especie de escarabajo estercolero reportada en este paisaje (*M. astyanax*) también se considera restrictiva a la cobertura boscosa (Escobar 2003), aunque se conoce muy poco de su biología. Entre las mariposas recolectadas, hubo pocas especies típicas del bosque (por ejemplo, *A. aidea*, *B. hyperia* spp. *aganisa*, *C. pitheas*, *D. junio*, *E. boisduvaliana*, *E. malvina*, *H. guatemalena*, *M. libye*, *M. peleides* y *Memphis* sp.) y fueron encontradas principalmente en los bosques secundarios.

Estos patrones sugieren que las comunidades de escarabajos estercoleros y de mariposas pueden haber experimentado cambios importantes en la composición de las especies al cambiar los paisajes de boscosos a altamente modificados.

### Comparación de la biodiversidad entre los hábitats

Hubo pocas diferencias claras en la abundancia, diversidad y riqueza de las especies de los dos grupos entre los diferentes tipos de hábitats. Esto parece deberse al hecho de que la mayoría de las especies fueron encontradas en todo el paisaje y en numerosos tipos de hábitats, sugiriendo que las especies que se mantienen en estos paisajes están adaptadas a usar una variedad de hábitats y pueden aprovechar los hábitats naturales remanentes en el paisaje. Las especies muy dependientes de la cobertura boscosa probablemente fueron perdidas hace tiempo y no se encuentran ya en el paisaje. Otro factor que cuenta en la escasez de diferencias entre las poblaciones de escarabajos estercoleros es el hecho de que el estiércol está disponible en todos los hábitats, pues las vacas penetran en todos ellos; por esto, los patrones de abundancia y riqueza de los escarabajos estercoleros pueden ser atribuidos a la gran disponibilidad de estiércol, más que a la cobertura boscosa.

Sin embargo, los seis hábitats difirieron en la composición de las especies, con un subconjunto de mariposas y escarabajos estercoleros que solamente ocurren en los hábitats boscosos. La composición de especies de los escarabajos estercoleros fue distinta en los hábitats boscosos (BS y CH), comparada con los otros hábitats; igualmente, la composición de especies de la comunidad de mariposas en bosques secundarios fue distinta a la de los otros hábitats. La abundancia y diversidad de las mariposas dependientes del bosque también fueron mayores en los hábitats boscosos. Estos datos sugieren, por lo tanto, que los parches de bosque y charrales remanentes sirven como reservorios importantes para las pocas especies de bosque remanentes y deben ser considerados como prioridad de conservación en la región.

## CONCLUSIONES

- Los paisajes ganaderos mantienen una biodiversidad que, si bien es dominada por especies adaptadas a condiciones abiertas y alteradas, aún retiene algunas especies típicas del bosque original.
- Una variedad de diferentes hábitats de cobertura arbórea es importante para mantener una biodiversidad relativamente alta.
- Los paisajes agrícolas son importantes para mantener la biodiversidad, ya que dos de las especies encontradas no estaban registradas en Nicaragua (*M. astianax* y *E. malvina*), lo cual señala la importancia de estudiar dichos paisajes más detalladamente.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue llevada a cabo como parte del proyecto FRAGMENT “Developing Methods and Models for Assessing the Impact of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity”, financiado por el Programa del Quinto Esquema de la Comunidad Europea “Confirming the International Role of Community Research”, INCO-DEV (Contract ICA4-CT-2001-10099). El primer autor agradece al Museo Entomológico de la ciudad de León por su ayuda en la identificación de algunos de los especímenes recolectados y a todos quienes residen en la zona de estudio por haberle permitido realizarlo.

**Recuadro 1.** Lista de especies de escarabajos coprófagos registrados en cada hábitat en Belén, Rivas, Nicaragua.

Especie	BS	BR	CH	CV	PAC	PBC	Total
<i>Ataenius</i> sp.			1				1
<i>Ateuchus rodriguezii</i>	459	922	365	29	254	276	2305
<i>Canthidium perceptibile</i>	5	4	1	1			11
<i>Canthidium pseudopuncticolle</i>	189	18	56	10	4	1	278
<i>Canthon cyanellus</i>	46	25	40	50	54	76	291
<i>Canthon deyrollei</i>	47	1	436	85	144	241	954
<i>Canthon euryscelis</i>	3		2	2			7
<i>Canthon indigaceus chevrolati</i>			1		3	15	19
<i>Canthon meridionalis</i>	37	9	24	1	6	5	82
<i>Copris lugubris</i>	908	509	236	763	805	419	3640
<i>Coprophanæus corythus telamon</i>	1	2	5	6			14
<i>Deltochilum lobipes</i>	123	15	59	9	9	7	222
<i>Dichotomius annae</i>	20		3	2	4	3	32
<i>Dichotomius centralis</i>	109	46	97	17	29	4	302
<i>Dichotomius yucatanus</i>	468	219	375	86	57	11	1216
<i>Hister</i> sp. (Histeridae)		3	11	2	6	31	53
<i>Malagoniella astyanax</i>	30	1	6	2	1	1	41
<i>Onthophagus acuminatus</i>	88	132	15	3			238
<i>Onthophagus batesi</i>	100	595	223	1369	436	351	3074
<i>Onthophagus championi</i>	302	43	338	35	169	135	1022
<i>Onthophagus landolti</i>	586	7	529	10	79	48	1259
<i>Onthophagus marginicollis</i>	1	6	30	2	214	139	392
<i>Phaneus demon</i>	1	1	1	10	4	3	20
<i>Phaneus eximius</i>	1		7		5	18	31
<i>Phaneus pyrois</i>	47						47
<i>Phaneus wagneri</i>	10	4	3	1	2		20
<i>Pseudocanthion perplexum</i>	17	1		27	5		50
<i>Sisyphus mexicanus</i>	17	2	6	1	1	4	31
<i>Sulcophanaeus cupricollis</i>	11	1					12
<i>Trox suberosus</i>	4	1		1	1	2	9
<i>Uroxys micros</i>	3		3		1		7
<i>Uroxys</i> sp.1	3		4				7
<i>Uroxys</i> sp. 2			1		1		2
<b>Total de individuos</b>	<b>3626</b>	<b>2567</b>	<b>2878</b>	<b>2524</b>	<b>2294</b>	<b>1790</b>	<b>15679</b>
<b>Total de especies</b>	<b>29</b>	<b>24</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>21</b>	<b>33</b>

BS= bosque secundario; BR= bosque ripario; CH= charral; CV= cercas vivas; PAC= potrero de alta cobertura arbórea; y PBC= potrero de baja cobertura arbórea.

**Recuadro 2.** Lista de especies y abundancia de mariposas diurnas registradas en el paisaje de Rivas, Nicaragua ( $n = 48$  parcelas).

Especie	BS	BR	CH	CV	PAC	PBC	TOTAL
<i>Adelpha serpa</i> spp. <i>massilia</i>				1			1
<i>Agraulis vanillae</i>						3	3
<i>Anaea aidea</i>			1				1
<i>Anartia fatima</i>		3		5	4	4	16
<i>Anartia jatrophae</i>		2			3	2	7
<i>Anteos clorinde</i>					1		1
<i>Ascia monuste</i>		2					2
<i>Battus polydamas</i>	1						1
<i>Biblis hyperia aganisa</i>		1					1
<i>Callicore pitheas</i>	2		3	1			6
<i>Chlosyne lacinia</i>					1	1	2
<i>Magneuptychia libye</i>			1				1
<i>Vareuptychia similis</i>	2	1	9	4	1	4	21
<i>Danaus gilippus</i>					1	1	2
<i>Dione juno</i>		1					1
<i>Dryadula phaetusa</i>	1	1	1	1	5	5	14
<i>Dryas iulia</i>	5		7	4	2	7	25
<i>Eueides isabella</i>		1	1	1	1		4
<i>Eunica malvina</i>					1		1
<i>Euptoieta hegesia</i>		3	2		8	16	29
<i>Eurema boisduvaliana</i>					1		1
<i>Eurema daira</i>	6	3	2	5	4	9	29
<i>Eurema proterpia</i>	1	2	2	1	3	2	11
<i>Hamadryas februa</i>		1		2			3
<i>Hamadryas glauconome</i>	8	3	2	2			15
<i>Hamadryas guatemalena</i>	4	4	2	2	3		15
<i>Heliconius charitonia</i>	3	12	10	4	5	2	36
<i>Heliconius hecale zuleika</i>	7	8	3	4	1	2	25
<i>Heraclides anchisiades</i>					1		1
<i>Heraclides crespontes</i>				1			1
<i>Heraclides thoas</i>		2		1			3
Hesperiidae*	2	1	1			8	12
<i>Itabalia demophila centrales</i>	2	2	2				6
<i>Junonia evarete</i>		2	2		6	10	20
<i>Lycorea cleobaea</i>		1					1
<i>Memphis</i> sp.	1						1
<i>Mestra amymone</i>			1				1
<i>Morpho peleides</i>	3	7	1	2			13
<i>Myscelia cyaniris</i>	9	3	4	1			17
<i>Myscelia pattenia</i>	8	1	6	1		6	22
<i>Opsiphanes cassina</i>	2	1					3
<i>Opsiphanes tamarindi</i>				3			3
<i>Parides montezuma</i>					3		3
<i>Phoebis sennae</i>	4	23	24	13	22	43	129
<i>Protographium epidaus</i>				2			2
<i>Siproeta stelenes</i>	1	6	4	5	2	4	22
<i>Taygetis andromeda</i>			1	1			2
<i>Taygetis kerea</i>	1		2	1			4
<i>Taygetis mermeria</i>	1		2				3
<i>Zerene cesonia</i>						16	16
<b>Total de individuos</b>	<b>74</b>	<b>97</b>	<b>96</b>	<b>68</b>	<b>79</b>	<b>145</b>	<b>559</b>
<b>Total de especies</b>	<b>23</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>50</b>

BS= bosque secundario; BR= bosque ripario; CH= charral; CV= cercas vivas; PAC= potrero de alta cobertura arbórea; y PBC= potrero de baja cobertura arbórea. \*Familia de mariposas que no fue identificada hasta especie.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Brown, KS; Hutchings, RW. 1997. Disturbance, fragmentation, and the dynamic of diversity in Amazonian forest butterflies. *In* Lawrence, WF; Bierregaard, RO. eds. Tropical forest remnants: Ecology, management, and conservation of fragmented communities. Estados Unidos, Chicago Press. p. 91-110
- Daily, G. 2001. Ecological forecasts. *Nature* 411:245.
- De Vries, PJ. 1987. The butterflies of Costa Rica and their natural history. Princeton, US, Princeton University Press. 327 p. Más 50 láminas.
- Halffter, G; Matthew, EG. 1966. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). *Folia Entomologica* 12-14: 1-312.
- Halffter, G.; Halffter, V. 1989. Behavioral evolution of the non-rolling beetle communities (Coleoptera: Scarabaeidae; Scarabaeinae). *Acta Zoologica Mexicana* 32:1-53.
- Hanski, I. 1989. Dung beetles. *In* Lieth, H; Werger, MJ. eds. Tropical rain forest ecosystems. Amsterdam, NE, Elsevier Science. p. 489-511
- Hanski, I; Cambefort, Y. 1991. Resource partitioning. *In* Dung beetles ecology. New Jersey, US, Princeton University Press. p. 331-349.
- Harvey, CA; Tucker, N; Estrada, A. 2004. Live fences, isolated trees and windbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes? *In* Schroth, G; Fonseca, GAB; Harvey, CA; Gascon, C; Vasconcelos, HL; Izac, AMN. eds. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Washington, DC, US, Island Press. p. 261-289.
- Howden, HF; Young, OP. 1981. Panamanian Scarabaeidae: Taxonomy, distribution and habits (Coleoptera, Scarabaeidae). *Contributions of the American Entomological Institute* 18(1): 1-204.
- InfoStat. 2002. Infostat version 1.1. Grupo Infostat, FCA, Córdoba, AR, Universidad Nacional.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2000. Zonificación de la III y IV Región. Informe de Campo. 18 p.
- Klein, BC. 1989. Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in Central Amazonia. *Ecology* 70:1715-1725.
- Maes, JM. 1999. Catálogo de los insectos y artrópodos terrestres de Nicaragua. 3: 639-657.
- \_\_\_\_\_; Brabant, R. 2000. Mariposas de Nicaragua. León, NI, Museo Entomológico de León. 1 disco compacto.

# Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central

Lorraine H.L. Gormley<sup>1</sup>; Fergus L. Sinclair<sup>1</sup>

**Palabras claves:** SIG; Simile; simulación; talleres participativos.

## RESUMEN

Los árboles son elementos importantes de los paisajes tropicales fragmentados en términos de biodiversidad y de la productividad de las fincas. El modelaje participativo está siendo implementado dentro del Proyecto FRAGMENT para examinar el papel de los árboles en paisajes agropecuarios contrastantes (dominados por pasturas) de América Central. Se han realizado talleres con los productores en Costa Rica y en Nicaragua para guiar el proceso del modelaje. Se combina un análisis espacial de biodiversidad a través del paisaje, utilizando sistemas de información geográfica, con sistemas dinámicos de modelaje de cambios de cobertura arbórea, mediante el programa de simulación de modelaje "Simile", que contiene una interfase diagramática intuitiva para el usuario. Se desarrolló el marco básico del modelaje y un modelo inicial de biodiversidad de aves. El proceso del modelaje y los modelos resultantes asistirán a los productores, personas involucradas en la toma de decisiones y otros actores en la planificación y manejo de árboles en el paisaje, de manera que haya un balance entre los objetivos productivos y los de conservación.

**Participative modeling of the impact of trees on farm productivity and regional biodiversity in fragmented landscapes in Central America**

**Key words:** GIS; participatory workshops; Simile; simulation.

## ABSTRACT

Trees are important elements of fragmented tropical landscapes in terms of both biodiversity and farm productivity. Participatory modeling is being implemented within the FRAGMENT project to examine the role of trees in contrasting Central American agricultural landscapes dominated by pastures. Stakeholder workshops were held in both Costa Rica and Nicaragua to guide the modeling process. Spatially-based analysis of biodiversity across the landscape using geographic information systems is combined with system dynamics modeling of changes in the tree cover using a simulation modeling environment, Simile, which has an intuitive diagrammatic user interface. The basic modeling framework and an initial bird biodiversity model have been developed. The modeling process and resulting models will assist farmers, policymakers and other stakeholders in planning and management of trees in the landscape, including making explicit trade-offs amongst production and conservation objectives.

## INTRODUCCIÓN

Los árboles son un componente vital del paisaje contemporáneo de muchas partes de América Central. Paisajes antaño boscosos han sido transformados en pasturas y cultivos, principalmente, intercalados con parches de cobertura arbórea de tamaño y densidad variados. Dentro de estos paisajes, la presencia de árboles es importante no solamente para la productividad de la finca

sino también para mantener la biodiversidad (Betancourt *et al.* 2003, Villanueva *et al.* 2003). A lo largo de estos paisajes se encuentran árboles en cercas vivas, dispersos en potreros, en parches de bosque secundario y, generalmente, en estrechas franjas de bosque ripario. Dependiendo de la situación socioeconómica de un área, los árboles pueden ser utilizados para leña, postes,

<sup>1</sup> School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor, Wales, UK. Correos electrónicos: l.gormley@bangor.ac.uk (autor para correspondencia); f.l.sinclair@bangor.ac.uk

material de construcción, frutos y follaje, a la vez que proveen servicios tales como sombra para el ganado y protección de las cuencas. La manera en que se manejan los árboles influye tanto en su utilidad como en su conservación y la de la biodiversidad asociada. Por lo tanto, es importante conocer todos los vínculos entre las actividades y decisiones de los productores y los cambios resultantes en la cobertura arbórea y su biodiversidad asociada.

Este documento examina el uso del modelaje participativo en la toma de decisiones sobre el manejo de los árboles y su impacto sobre la biodiversidad, y describe un nuevo enfoque para relacionar las actividades humanas con la conservación de la misma.

### MODELAJE

Un modelo es una representación simplificada de un sistema real; en muchas situaciones, es más fácil trabajar con modelos que con sistemas reales. La ciencia ha diseñado y aplicado modelos durante siglos, pero los modelos matemáticos de sistemas medioambientales se han ido desarrollando tan solo en las últimas décadas. Los modelos de simulación matemática utilizan ecuaciones para representar las conexiones en un sistema. Hoy en día, la mayoría de los modelos son implementados como programas de cómputo. La técnica de modelaje representada en este artículo utiliza el Simile, un programa visual de modelaje desarrollado para facilitar la creación de modelos de simulación agroecológica (Muetzelfeldt y Massheder 2003). El Simile combina el modelaje de las dinámicas del sistema (fluidez del compartimento) con las herramientas basadas en objetos. El sistema permite al usuario desarrollar un modelo utilizando convenciones diagramáticas intuitivas, matemáticamente simples, que luego la computadora procesa según un código informático, de tal manera que pueda ejecutarse como una simulación. Se provee una interfase personalizada que permite a los usuarios cambiar los parámetros y ver los resultados.

En el campo de los recursos naturales, a menudo los modelos se desarrollan para ayudar a la comprensión del funcionamiento de los sistemas naturales y visualizar cómo pueden comportarse en el futuro (Standagunda *et al.* 2003). Estos modelos se pueden diseminar entre los encargados de los recursos naturales, los decisores y los productores locales. Sin embargo, una revisión de los modelos de producción y crecimiento de las cosechas demuestra que, aunque muchos de ellos han sido útiles para los investigadores que los desarrollaron, pocos han sido utilizados para apoyar el desarrollo de

políticas o para mejorar la toma de decisiones (Matthews *et al.* 2000). Para mejorar el resultado de los modelos de recursos naturales como herramientas en la toma de decisiones, resulta esencial la consulta con los actores involucrados, tanto durante las etapas iniciales del desarrollo del modelo como durante el resto del proceso.

### TALLERES CON PRODUCTORES PARA DEFINIR LOS INDICADORES A ESCALA DE PAISAJE

El modelaje participativo se está emprendiendo como parte del Proyecto FRAGMENT, realizado en colaboración con la Comunidad Europea, en cuatro paisajes fragmentados de América Central. El trabajo inicial se ha centrado en dos de estos paisajes: uno en Rivas, al sureste de Nicaragua, y otro en Cañas, al noreste de Costa Rica. En cada una de estas áreas de estudio, se mantuvieron talleres con los actores para identificar los indicadores de productividad y de conservación importantes para ellos.

La primera etapa en el desarrollo de los modelos participativos a escala del paisaje implica definir lo que los diferentes productores piensan sobre lo que el paisaje debe aportar; esto incluye aspectos como los modos de vida de las fincas, la belleza escénica, la retención del agua, el empleo y el hábitat para la vida silvestre. Estos beneficios se pueden dividir en dos categorías importantes: mercancías productivas de valor económico directo y servicios ambientales. Esta lista inicial de mercancías productivas y servicios ambientales se traduce luego en un conjunto de indicadores mesurables; los participantes consideran cuáles son los actuales (la línea base), deseables (las metas) y críticos (los límites).

Los indicadores cuantitativos y cualitativos pueden ser definidos en las escalas relevantes en las cuales se toman las decisiones sobre el cambio en el uso del suelo, —como fincas o campos— o a escalas en las cuales se manifiestan los impactos ambientales —como economías o hábitats de cuencas, pendientes y valles—. Se exploran entonces las maneras apropiadas de visualizar estos indicadores como resultados de un modelo, las cuales pueden incluir desde gráficos simples o juegos de números tabulados, hasta mapas sofisticados o vistas de paisajes tridimensionales interactivos. En esta etapa, se define la forma del resultado que se requiere de un modelo de simulación del paisaje para indicadores importantes para toda la comunidad de productores.

Los talleres en Rivas y Cañas se organizaron en una serie de pequeños grupos participativos y discusiones plenarios, respaldados por una base de datos, materiales

ilustrativos (afiches y mapas) del área, y simulaciones en la computadora de otros paisajes para ilustrar los diferentes tipos de resultados del modelo.

Los resultados de los talleres revelaron diferencias importantes entre las prioridades de los productores locales y los indicadores de producción y funcionamiento de las fincas, así como entre el paisaje más amplio de Cañas (Costa Rica) y Rivas (Nicaragua). Los productores y propietarios en Cañas dieron más importancia a la producción de carne vacuna que a la de leche. Generalmente, estos productores no utilizan sus fincas para obtener otros productos, aunque la provisión de los servicios ambientales (conservación del suelo, conservación para el futuro y ecoturismo) fue mencionada por muchos de ellos. En Rivas, los productores y propietarios identificaron una mayor diversidad de productos que requieren de sus fincas, desde carne, leche y cultivos de subsistencia hasta leña y madera. Identificaron también una variedad de servicios ambientales como funciones importantes del paisaje, incluyendo la conservación del agua, la calidad del aire y la presencia de animales silvestres.

Estos descubrimientos han sido utilizados para guiar la construcción de modelos en el nivel de paisaje. Así, en este artículo se explora el impacto de la cobertura arbórea en la producción de bienes y servicios ambientales en las dos áreas contrastantes, desde el punto de vista socioeconómico.

### DESARROLLO DEL MODELO

Los paisajes tropicales fragmentados no constituyen áreas continuas de un solo tipo de cobertura de suelo.

Procesos dinámicos —como las prácticas agrícolas, cambios en el uso de la tierra y la caída de árboles— alteran y fragmentan progresivamente la cobertura del terreno, de tal manera que los patrones resultantes influyen en las funciones de los ecosistemas. Las características del paisaje —como las cercas vivas, el bosque ripario y los caminos— pueden impedir o facilitar la fluidez de materiales claves como son el suelo o el agua, y de organismos como las personas u otros elementos de la naturaleza biótica. El arreglo espacial y la magnitud de la cobertura arbórea son importantes cuando se considera el flujo de materiales claves y organismos a través de los paisajes.

El modelo integrado final de los aspectos biofísicos y sociales en el Proyecto FRAGMENT involucra una combinación de análisis espaciales de biodiversidad implementados en ArcGIS (ESRI), un sistema de información geográfica (SIG), con un modelo de dinámicas del sistema en Simile. Los atributos de biodiversidad para cada parcela son introducidos en el SIG y pasados por el modelo de dinámicas del sistema en Simile, que luego simula las acciones de las personas y la manera en que estas afectan la cobertura arbórea, y recopila la información de la productividad y biodiversidad en una serie de indicadores (Figura 1). Este marco del modelaje se basa en los datos sobre biodiversidad espacialmente referenciada del Proyecto FRAGMENT, que requiere del diseño de un vínculo dinámico entre ArcGIS (ESRI) y Simile para facilitar el paso de la información entre los dos sistemas de cómputo (Simulistics 2003).

El desarrollo inicial se ha enfocado en la parte biofísica del modelo, especialmente en los efectos de la cobertu-

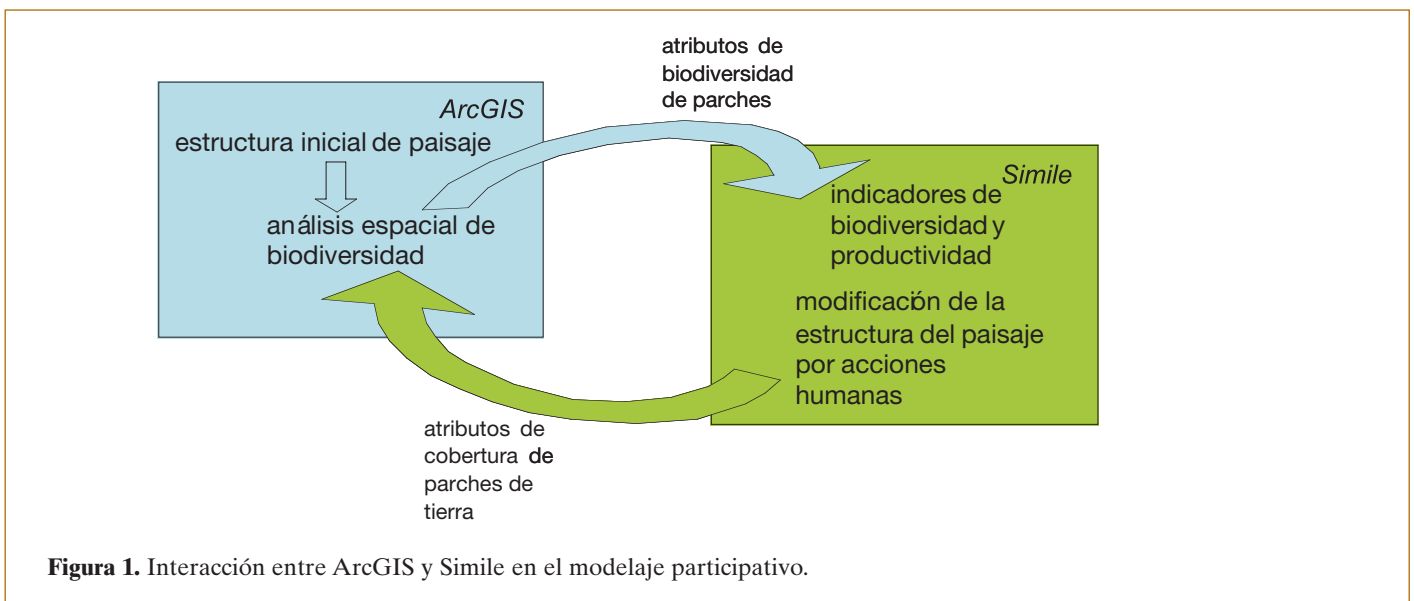


Figura 1. Interacción entre ArcGIS y Simile en el modelaje participativo.



ra arbórea sobre varios elementos de la biodiversidad. El submodelo de biodiversidad preparado por el Proyecto FRAGMENT utiliza la información recopilada sobre murciélagos, aves, mariposas y escarabajos estercoleros. La discusión con los colaboradores, dados los resultados de las muestras de biodiversidad, indica algunas características importantes del hábitat para la misma (Cuadro 1).

La estructura básica del modelo de dinámicas del sistema en Simile presenta los submodelos de finca, parcela y hábitat y las relaciones entre ellos a través de los submodelos de ocupación y asociación de contigüidad (Figura 2). Inicialmente, la biodiversidad para cada parcela se calcula para cada paisaje desde un análisis espacial de la cobertura del suelo y sus características. Aunque el tipo de cobertura del suelo es la primera determinante

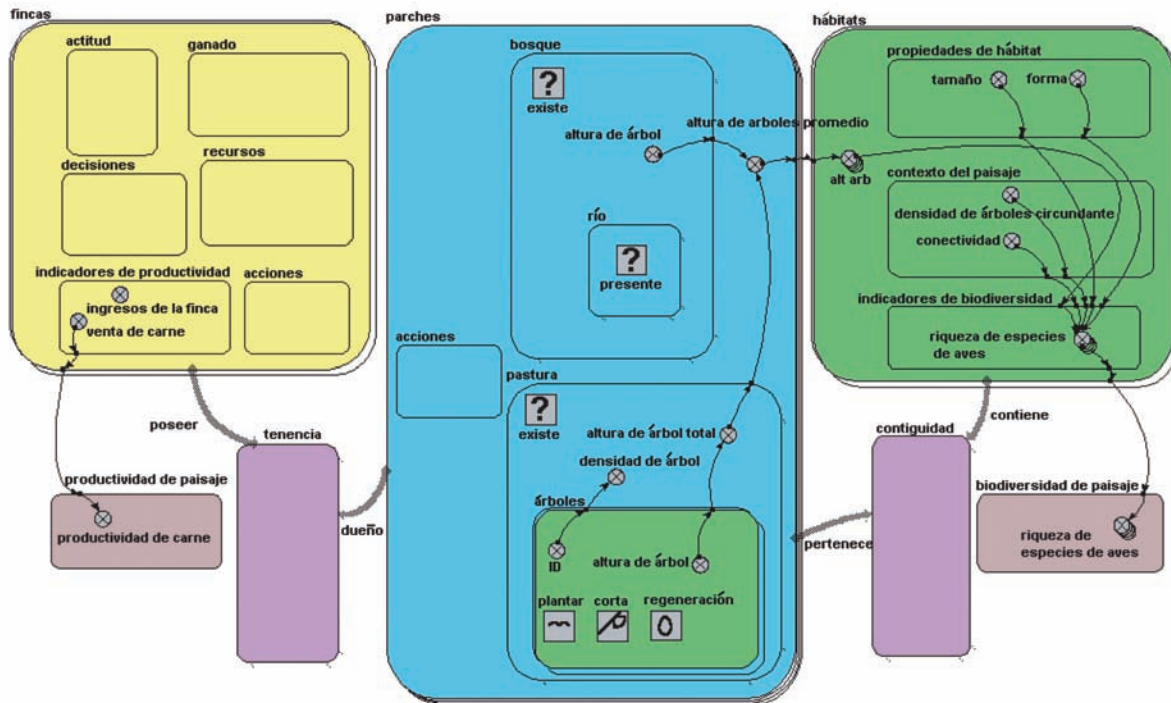
de la biodiversidad, esto puede ser modificado para cualquier parcela específica, de acuerdo con las características del hábitat, tales como su altura o la densidad de los árboles. Por ejemplo, una versión inicial del submodelo de la biodiversidad de aves explora cómo las variables de árboles, hábitat y paisaje influyen en la biodiversidad en dos tipos de cobertura de suelo (bosque y pastura) (Figuras 2 y 3). Los submodelos pueden ser sustituidos utilizando la herramienta *plug and play* (“conectar y jugar”) en Simile, de manera que se puedan comparar fórmulas alternativas del modelo mientras el proyecto tiene lugar, para obtener las diferentes formas de representar el sistema.

El próximo paso en el proceso de modelaje consiste en afinar la parte biofísica del modelo para incorporar todos los usos de tierra muestreados en el Proyecto

**Cuadro 1.** La importancia de las características de diferentes hábitats para muestrear grupos de biodiversidad en paisajes fragmentados de Rivas y Cañas, Costa Rica.

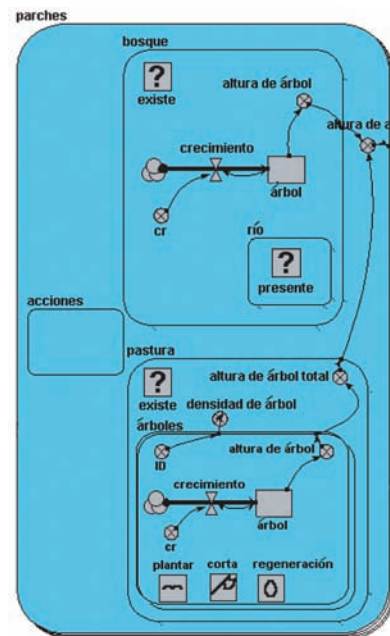
Hábitat	Grupo			
	Aves	Murciélagos	Escarabajos estercoleros	Mariposas
<b>Bosque ripario</b>	Presencia de agua Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Presencia de agua Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos	Presencia de agua Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de agua Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos
<b>Bosque secundario</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos
<b>Charral</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos
<b>Cerca viva</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos Composición de especies (plantadas vs. regeneración)	Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos Composición de especies (plantadas vs. regeneración)	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos) Composición de especies (plantadas vs. regeneración)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos Composición de especies (plantadas vs. regeneración)
<b>Pasturas con alta cobertura arbórea</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Disponibilidad de sitios para pasar la noche Disponibilidad de frutos	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos
<b>Pasturas con baja cobertura arbórea</b>	Disponibilidad de sitios de descanso Disponibilidad de frutos	Disponibilidad de frutos	Condiciones microclimáticas (sombra/humedad) Presencia de escarabajos (silvestres/domésticos)	Presencia de plantas en flor Disponibilidad de frutos

Los hábitats enumerados son hábitats/uso de suelo muestreados como parte del Proyecto FRAGMENT.



**Figura 2.** Estructura del modelo integrado mostrando los submodelos principales de finca, parcela (parches) y hábitat. Para propósitos ilustrativos, solo se incluyen algunas pocas variables y flechas de influencia, que demuestran el tipo de relaciones involucradas (por ejemplo, altura de árbol y biodiversidad de aves).

FRAGMENT (bosque ripario, bosque secundario, charral, cercas vivas y pasturas con diferente cobertura arbórea) para todos los grupos de organismos muestreados (murciélagos, escarabajos, aves y mariposas). También se ha progresado en el desarrollo del submodelo de finca, al formalizar las decisiones de los productores que afectan la cobertura arbórea usando estadísticas de pensamiento bayesiano. Se han explorado los eventos claves observados en el monitoreo de las fincas que han cambiado la cobertura arbórea, tales como la tala de árboles, el control de malezas y la quema. Para cada evento, los productores han sido entrevistados para determinar cómo deciden actuar. Sus respuestas fueron luego representadas como árboles de decisiones cualitativas y modelos combinados de decisiones similares y luego cuantificados como redes de probabilidades. Estos modelos serán combinados con los submodelos para recursos y actitudes de la familia para modelar cómo los productores toman decisiones que afectan la cobertura arbórea. El siguiente paso será crear modelos de producción que se vinculen con los datos de biodiversidad y cobertura arbórea.



**Figura 3.** Estructura del submodelo parcelas (parches), mostrando la simulación del crecimiento de los árboles mediante la metodología del flujo de componentes en los submodelos del bosque y pastura. Estas variables son vinculadas luego al submodelo de hábitats para investigar la biodiversidad de aves.

## AGRADECIMIENTOS

Los datos de biodiversidad fueron recolectados por la Fundación Cocibolca, Nicaragua, y la Universidad Nacional, Costa Rica. Los datos de SIG fueron procesados por la Universidad de Göttingen, Alemania, y comprobados por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, Sede Central) y Nitlapán – UCA, Nicaragua, como parte del proyecto FRAGMENT.

La información sobre el ambiente de modelaje Simile puede encontrarse en la página [www.simulistics.com](http://www.simulistics.com). Se agradece a Patricia Hernández la traducción de este artículo.

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Betancourt, K; Ibrahim, M; Harvey, CA; Vargas, B. 2004. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40).
- Matthews, R; Stephens, W; Hess, T; Mason, T; Graves, A. 2000. Applications of crop/soil simulation models in developing countries. Report PD 82, Institute of Water and Environment, Bedfordshire, UK, Cranfield University. 304 p.
- Muetzelfeldt, R; Massheder, J. 2003. The Simile visual modelling environment. *European Journal of Agronomy* 18: 345-358.
- Simulistics. 2003. Disponible en <http://www.simulistics.com>.
- Standa-Gunda, W; Mutimukuru, T; Nyirenda, R; Haggith, M; Vanclay, JK. 2003. Participatory modelling to enhance social learning, collective action and mobilization among users of the Mafungautsi Forest, Zimbabwe. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy* 2(2): 313-326.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Esquivel, H. 2004. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40).

## ¿Cómo hacerlo?

# ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?

Hernán J. Andrade<sup>1</sup>; Muhammad Ibrahim<sup>2</sup>

**Palabras claves:** cambio global; carbono orgánico de suelos; fijación de carbono; modelos de biomasa.

### INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es uno de los principales problemas que enfrenta el mundo de hoy. Algunas manifestaciones de dicho cambio son un incremento de cerca de medio grado centígrado desde el siglo pasado (Ciesla 1996) y cambios en los regímenes hídricos. La concentración de gases de invernadero —dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano y óxidos nitrosos— en la atmósfera ha aumentado considerablemente, lo cual fortalece el efecto invernadero, con el consecuente sobrecalentamiento del planeta. El CO<sub>2</sub>, principal gas de efecto invernadero, incrementó su concentración de 280 ppm en 1750 a 360 ppm en el 2000, y el uso de combustibles fósiles genera en la actualidad del 80 al 85% del CO<sub>2</sub> emitido (Gómez-Echeverri 2000). Los sistemas ganaderos tradicionales han sido culpados de aportar grandes cantidades de metano a la atmósfera, debido al proceso digestivo de los bovinos y otros rumiantes (Ciesla 1996). Adicionalmente, la degradación de pasturas contribuye de manera significativa al aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico, ya que en estos sistemas hay una rápida descomposición del carbono de la materia orgánica y, por ende, mayor emisión (Houghton *et al.* 1991).

Los gases de invernadero podrían reducirse a través de dos procesos: reducción de emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> o creación y/o mejoramiento de los sumideros de carbono en la biosfera. La forestería puede contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante la conservación, el secuestro y almacenamiento y la sustitución de carbono (Vine *et al.* 1999, IPCC 2000). De igual manera, los sistemas agroforestales podrían remover

cantidades significativas de carbono de la atmósfera, ya que las especies arbóreas pueden retener carbono por un tiempo prolongado, principalmente en su madera. Algunos autores consideran que estos sistemas podrían acumular entre 1,1 y 2,2 Pg<sup>3</sup> en los próximos 50 años en todo el mundo (Albrecht y Kandji 2003). Sin embargo, la cantidad de investigación realizada en agroforestería es poca en comparación con la de otros usos de la tierra, como bosques y plantaciones forestales, y aún falta conocer mejor el potencial de estos sistemas para secuestrar carbono.

Los sistemas silvopastoriles podrían recibir pagos por ser mitigadores del calentamiento global y por otros servicios ambientales. El monitoreo del secuestro de carbono es una herramienta fundamental en los proyectos de mitigación. El diseño del inventario debe considerar el equilibrio costo-beneficio, con el fin de lograr un balance entre la precisión y los recursos disponibles (MacDicken 1997). El objetivo de este documento es proponer una metodología para cuantificar el almacenamiento y la fijación de carbono en sistemas silvopastoriles, que esté al alcance de muchos proyectos.

### MONITOREO DEL SECUESTRO DE CARBONO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES

El impacto de cualquier proyecto de secuestro de carbono debe estimar la diferencia del carbono almacenado en sitios con proyecto y sin él (línea de base) en un tiempo determinado (Ecuación 1). En proyectos agroforestales, el caso de referencia es el sistema existente de uso de la tierra (Powell y Delaney 1998).

<sup>1</sup> Candidato Doctoral en Agroforestería. CATIE-Universidad de Gales (Bangor). Correo electrónico: handrade@catie.ac.cr (autor para correspondencia).

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: mibrahim@catie.ac.cr

<sup>3</sup> 1 Pg = 10<sup>15</sup> g

**Ecuación 1.** Estimación de la fijación de carbono en proyectos de uso de la tierra y forestería.

$$FC = \frac{AC_p - AC_{lb}}{t}$$

Donde:

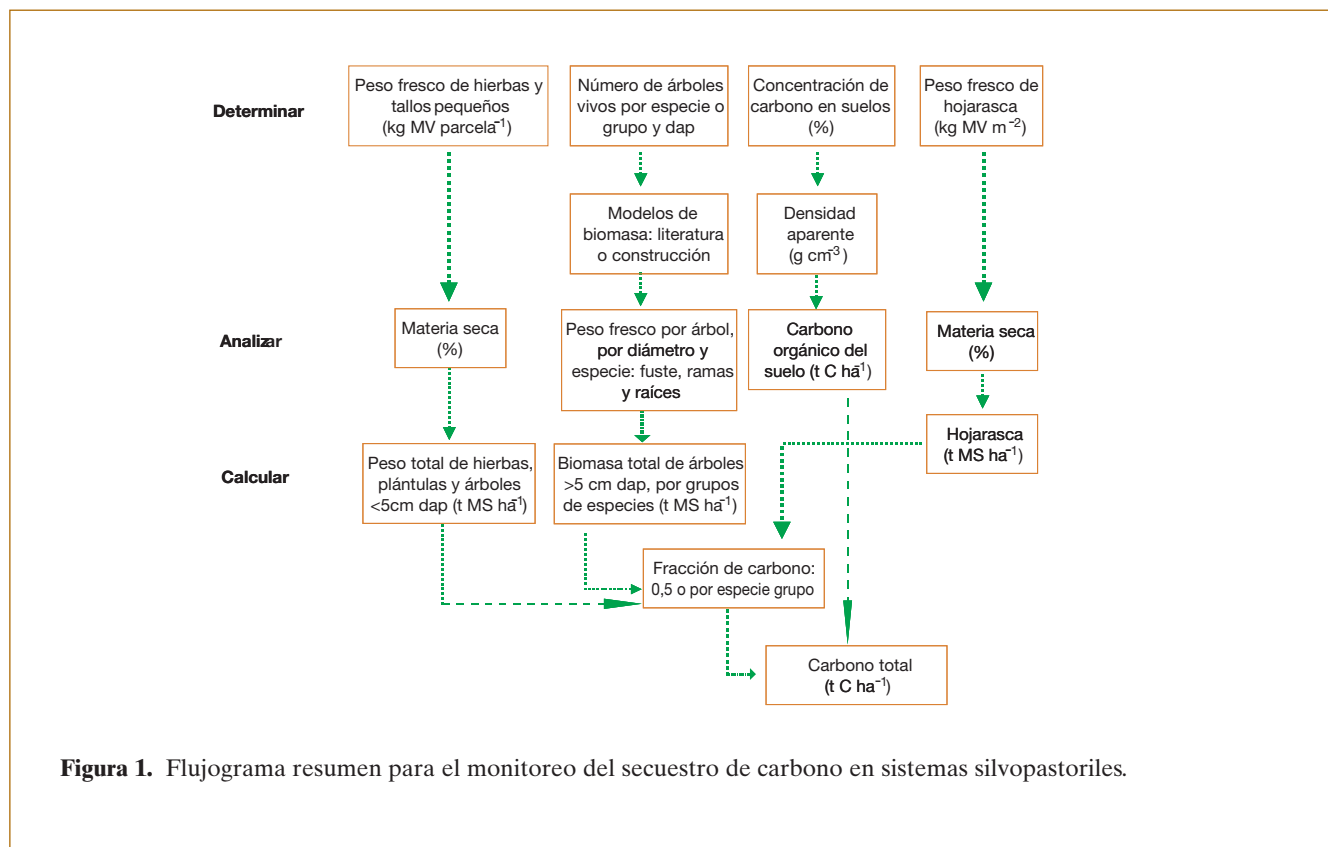
- FC: fijación de carbono por el proyecto (t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)
- AC<sub>p</sub>: almacenamiento de carbono por el proyecto (t C ha<sup>-1</sup>)
- AC<sub>lb</sub>: almacenamiento de carbono en la línea de base (t C ha<sup>-1</sup>)
- t: edad del proyecto (años)

Los inventarios de carbono son una fotografía del estado actual de cada componente de carbono (biomasa, hojarasca, suelos, raíces) en términos de cantidad. Esta metodología debería permitir la comparación entre sitios, sistemas y períodos (MacDiken 1997) y dependerá de la relación costo-beneficio. Esta relación considera los ingresos generados por los créditos de carbono y los costos del monitoreo, siendo importante que los costos estén en relación con los beneficios por obtener. En general, existen tres niveles de esfuerzo con relación al ba-

lance costo-beneficio: (1) básico: de menor costo y exactitud (30% de error), donde las mediciones se hacen solo al inicio y al final del proyecto; (2) moderado: provee una exactitud mayor (20% de error) y es monitoreado cada dos o tres años y al final, y (3) alto: produce estimados más precisos (10-15% de error), y se mide anualmente (MacDiken 1997). El diseño del monitoreo también depende de las tasas de fijación de carbono. En sistemas con tasas bajas es aconsejable reducir la frecuencia de monitoreo, ya que el error podría ser igual o mayor a dichas tasas, reduciendo la confiabilidad de los estimados.

### INVENTARIOS DE CARBONO

La gran variabilidad espacial de los sistemas silvopastoriles hace que los muestreos estratificados sean los más convenientes. El sistema total debe ser dividido en estratos (vegetación, suelo o topografía), los cuales se pueden definir empleando imágenes satelitales, fotografías aéreas, y mapas de vegetación, suelos o topografía (MacDiken 1997). La metodología sugerida en este documento comprende un conjunto de métodos para evaluar cada componente de los sistemas silvopastoriles: biomasa herbácea, biomasa leñosa, suelo y hojarasca (Figura 1).



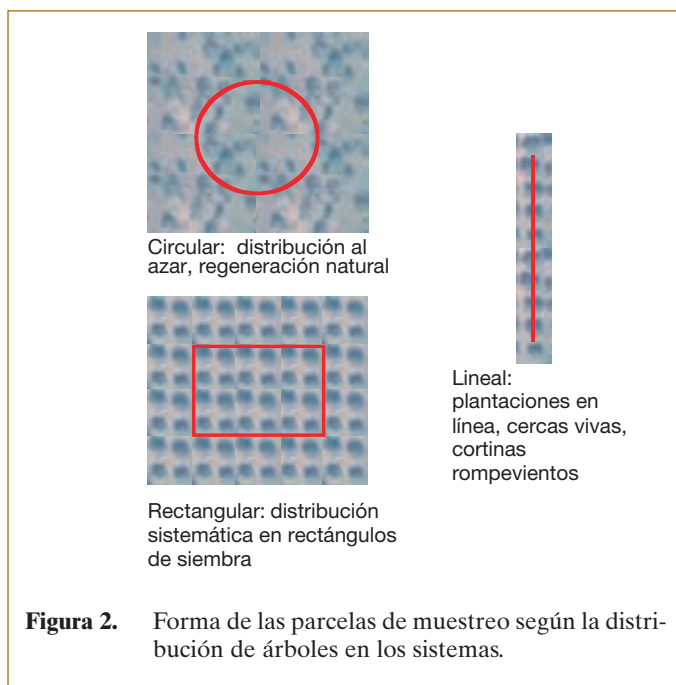
**Figura 1.** Flujograma resumen para el monitoreo del secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles.

En el monitoreo del secuestro de carbono en ecosistemas forestales, las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son una herramienta estadística importante para evaluar los cambios temporales, principalmente porque proveen datos más reales y fácilmente verificables del crecimiento de la vegetación (MacDiken 1997). Los cambios temporales de almacenamiento de carbono en las PPM pueden ser considerados como flujos de carbono.

Las características de las PPM (forma, tamaño y número) constituyen un aspecto clave del monitoreo. La forma de las parcelas depende enteramente de la distribución espacial de los árboles. En plantaciones lineales, se debería usar parcelas con la misma forma; mientras que si los árboles se distribuyen al azar (dispersos), la forma más aconsejable es la circular o bien, realizar un censo, ya que cuando hay pocos árboles esta acción puede reducir el error del muestreo. En sistemas con árboles de distribución sistemática, se recomiendan las PPM rectangulares (Figura 2). Con esta selección de formas se asegura que la densidad arbórea de la PPM sea igual a la densidad encontrada en el sistema por evaluar. La densidad arbórea determina el tamaño de las PPM, de tal manera que, en sistemas muy densos, es posible trabajar con parcelas pequeñas, mientras que en sistemas de baja densidad es indispensable emplear parcelas grandes (Cuadro 1).

El número de PPM depende de su tamaño, de la intensidad del muestreo y del tamaño del sistema y/o estrato (Ecuación 2). Se debe determinar el tamaño de la muestra o número de PPM para cada estrato, ya que en inventarios de carbono cada componente presenta una variancia diferente. Otra opción en la determinación del tamaño de la muestra, que goza de mayor validez estadística, incluye un premuestreo de cada componente por evaluar (Ecuación 3; Segura y Kanninen 2002). Es recomendable incrementar en un 10 a 20% el número

calculado de PPM, a fin de eliminar el problema de pérdida de parcelas y asegurar que siempre se cuente con un número adecuado para la medición (MacDiken 1997).



**Figura 2.** Forma de las parcelas de muestreo según la distribución de árboles en los sistemas.

**Ecuación 2.** Estimación del número de parcelas de muestreo con base en la intensidad de muestreo deseada.

$$n = \frac{IM \times At}{Ap \times 100}$$

Donde:

- n*: número de PPM (parcelas permanentes de muestreo)
- IM*: intensidad de muestreo (%)
- At*: área total del sistema o estrato (m<sup>2</sup>)
- Ap*: área de la PPM (m<sup>2</sup>)

**Cuadro 1.** Tamaño de parcelas para inventarios de carbono.

Densidad arbórea (# árboles ha <sup>-1</sup> )	Tamaño parcela (m <sup>2</sup> )	Aplicación	Ejemplos de sistemas silvopastoriles
< 100	1000	Vegetación leñosa muy esparcida	Árboles dispersos en potreros
100 - 140	670	Vegetación leñosa esparcida	
140 - 250	500	Vegetación leñosa moderadamente esparcida	
250 - 670	250	Vegetación leñosa moderadamente densa	Pastoreo en plantaciones forestales, bancos forrajeros, pasturas en callejones
>700	100	Vegetación muy densa, rodales con gran número de tallos de diámetros pequeños, distribución uniforme de tallos grandes	

Fuente: Adaptado de MacDicken (1997).

Por ejemplo, si se tiene un sistema silvopastoril de 7 ha, con alrededor de 200 árboles ha<sup>-1</sup>, y se desea obtener una intensidad de muestreo del 5% con parcelas circulares de 500 m<sup>2</sup>, se tendría lo siguiente:  $n = 5 \times 70000 \text{ m}^2 / (500 \text{ m}^2 \times 100)$ ; así,  $n = 7$  parcelas de muestreo.

**Ecuación 3.** Estimación del número de parcelas de muestreo con base en un premuestreo.

$$n = \left[ \frac{t \times s}{\left( \frac{S_{yx} \times \chi}{100} \right)} \right]^2$$

Donde:

- $n$ : número de PPM (parcelas permanentes de muestreo)  
 $S_{yx}$ : error de la estimación (%)  
 $t$ : valor de la  $t$  de Student, de acuerdo con el tamaño de la muestra y la probabilidad deseada  
 $s$ : variancia  
 $\chi$ : media

La periodicidad o frecuencia de la medición de las PPM dependerá del componente de carbono por evaluar, ya que los componentes del sistema tienen diferentes tasas de cambio (flujo). Se recomienda hacer monitoreos anuales en componentes con tasa alta, tales como la biomasa aérea. En suelos, el monitoreo puede hacerse menos frecuentemente, ya que es muy costoso y en áreas no perturbadas la cantidad de carbono no cambia dramáticamente con el tiempo (Vine *et al.* 1999). El efecto de la estacionalidad puede controlarse realizando todos los inventarios en la misma época, preferiblemente en el mismo mes (MacDiken 1997).

### COMPONENTES DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES

Los sistemas forestales y agroforestales acumulan carbono en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo (Snowdon *et al.* 2001). En general, todos los componentes grandes y que cambian sustancialmente durante la vida del proyecto deberían ser medidos; sin embargo, es necesario enfatizar en aquellos que almacenan el carbono con mayor permanencia, como la biomasa leñosa.

#### Biomasa sobre el suelo

La biomasa sobre el suelo en sistemas silvopastoriles se divide principalmente en (1) biomasa leñosa y (2) biomasa del estrato herbáceo: pastos, leguminosas, hierbas, estados juveniles y otros (Snowdon *et al.* 2001).

**1) Biomasa de los componentes leñosos.** Los métodos más usados para estimar esta biomasa son: (a) uso de modelos de biomasa por especie; (b) aplicación de modelos generales de biomasa; (c) construcción de tablas de biomasa generales o por especie; (d) uso de tablas de rendimiento estándar de madera (Snowdon *et al.* 2001), y (e) uso de la técnica del árbol promedio (MacDiken 1997). En todas estas situaciones, se debe medir el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total de la vegetación leñosa (dap >2 cm) en las PPM (MacDiken 1997).

*a) Uso de modelos de biomasa por especie.* Se estima la biomasa total aérea por individuo con base en el dap y la altura total. Lo más aconsejable es emplear modelos que hayan sido construidos bajo condiciones similares a las encontradas donde se quieran aplicar, principalmente en términos de tamaño de árboles y densidad arbórea. Algunos autores han desarrollado modelos de biomasa para su uso en sistemas silvopastoriles de los trópicos seco y húmedo (Cuadro 2). En este caso, las medidas necesarias son el dap y la altura total del árbol.

*b) Uso de modelos generales.* Se han desarrollado algunos modelos muy generales como herramienta para estimar el contenido de biomasa aérea en inventarios forestales (Brown *et al.* 1989). Aunque estos modelos pueden presentar grandes limitaciones, podrían usarse en el caso de no existir modelos específicos para zonas o condiciones particulares (Cuadro 3). El uso de dichos modelos generales requiere de las mediciones del dap, aunadas en algunos casos a la altura total del árbol y la densidad de la madera.

*c) Construcción de modelos o tablas de biomasa por especie.* En caso de no encontrar modelos por especie, es posible desarrollarlos (Segura y Kanninen 2002). Los modelos de biomasa son ecuaciones matemáticas que relacionan la biomasa con dimensiones de árboles en pie (dap, altura comercial y total, crecimiento diamétrico, etc.) (Ortiz 1993, Brown 1997, Araújo *et al.* 1999). Estos modelos de biomasa pueden ser construidos mediante un muestreo destructivo, usando un mínimo de 30 árboles bien seleccionados (MacDiken 1997).

En general, la construcción de modelos de biomasa consiste en la medición de árboles en pie y la posterior corta y cuantificación de su biomasa aérea total. El árbol se divide en componentes: fuste, ramas grandes, ramas pequeñas y hojas. Las ramas pequeñas (diámetro <25 cm)

**Cuadro 2.** Algunos modelos de biomasa para la estimación de biomasa aérea total de árboles en sistemas silvopastoriles.

Modelo	Especies arbóreas	R <sup>2</sup>	Precipitación (mm año <sup>-1</sup> )	Fuente
LB = -2,2 + 0,08D - 6,2 x 10 <sup>-4</sup> D <sup>2</sup>	<i>Cassia grandis</i> , <i>Platymiscium pleiostachyum</i> , <i>Pithecellobium saman</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Cordia alliodora</i> y <i>Tabebuia rosea</i>	0,94	1200 - 1800	Ruiz 2002
B = 3,44 + 0,064D + 1,03H	<i>Acacia mangium</i>	0,99	4500	Andrade 1999
B = 4,24 + 0,052D + 1,05H	<i>Eucalyptus deglupta</i>	0,99	4500	Andrade 1999

LB: logaritmo de la biomasa total aérea (t MS árbol<sup>-1</sup>); B: biomasa total aérea (kg MS árbol<sup>-1</sup>); D: diámetro a la altura del pecho (1,3 m) (cm); H: altura total del árbol (m).

**Cuadro 3.** Modelos alométricos para estimar la biomasa sobre el suelo del componente leñoso con datos de inventarios forestales.

Tipo de clima basado en precipitación anual	Ecuación	R <sup>2</sup> ajustado
Seco (< 1500 mm año <sup>-1</sup> )	$y = 34,4703 - 8,0671 D + 0,6589 D^2$	0,67
Húmedo (150 - 4000 mm año <sup>-1</sup> )	$y = 38,4908 - 11,7883 D + 1,1926 D^2$	0,78
	$y = \exp [-3,1141 + 0,9719 \ln(D^2H)]$	0,97
	$y = \exp [-2,4090 + 0,9522 \ln(D^2HS)]$	0,99
Lluvioso (> 4000 mm año <sup>-1</sup> )	$y = 13,2579 - 4,8945 D$	0,90
	$y = \exp [-3,3012 + 0,9439 \ln(D^2H)]$	0,90

Fuente: Brown *et al.* (1989).

y : biomasa sobre el suelo (kg MS árbol<sup>-1</sup>); H: altura (m); D: diámetro a la altura del pecho (1,3 m) (cm); S : densidad de la madera (t m<sup>-3</sup>).

y hojas pueden ser pesadas en fresco y transformadas a valores de biomasa tomando una muestra y secándola en el horno (70 °C hasta peso constante). El fuste y las ramas grandes (diámetro  $\geq 25$  cm) se cubican (determinación de su volumen por medio de ecuaciones de Smalian, Huber, etc.) y se transforman a biomasa por medio de su gravedad específica.

d) *Uso de tablas de rendimiento estándar.* Las tablas de rendimiento estándar estiman el volumen de árboles en pie con algunas de sus dimensiones (dap, altura total). Posteriormente, con ayuda de la gravedad específica y el factor de expansión de biomasa (relación entre biomasa total y biomasa de fuste), puede estimarse la biomasa aérea total (Ecuación 4).

**Ecuación 4.** Estimación de la biomasa aérea total de árboles con base en su volumen comercial de fuste.

$$B_{ta} = V_f \times GE \times FEB$$

Donde:

$B_{ta}$ : biomasa aérea total (t MS árbol<sup>-1</sup>)

$V_f$ : volumen de fuste (m<sup>3</sup> árbol<sup>-1</sup>)

$GE$ : gravedad específica o densidad básica de la madera (t m<sup>-3</sup>)

$FEB$ : factor de expansión de biomasa

Los valores promedio de gravedad específica —peso por unidad de volumen— pueden ser encontrados en la literatura o determinados mediante un análisis de laboratorio. El peso de las muestras secas (70 °C por 72 horas) es de fácil estimación. El cálculo del volumen se puede realizar por medio de dos métodos generales: (1) tomando piezas de madera de forma regular (ej. un cubo) de dimensiones conocidas (Vine *et al.* 1999), o (2) cubriendo las muestras de parafina e introduciéndolas en un recipiente con agua para determinar su volumen por desplazamiento de agua (principio de Arquímedes).

El factor de expansión de biomasa (FEB) —la relación entre la biomasa total aérea y la biomasa comercial— varía mucho entre especies y condiciones particulares de los ecosistemas forestales. El valor más comúnmente



empleado es 1,6 (Dixon 1995); sin embargo, en sistemas agroforestales, se pueden encontrar valores promedios de 2,2 con un rango de 1,9 a 2,4. Ruiz (2002) encontró valores promedio de FEB de 1,6 para siete especies arbóreas dispersas en pasturas de Matiguás, Nicaragua (*Cassia grandis*, *Platymiscium pleiostachyum*, *Pithecellobium saman*, *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea*).

e) *La técnica del árbol promedio*. Esta técnica puede ser una opción más económica que los métodos alométricos. El concepto es que un árbol de tamaño promedio tendrá también una biomasa promedio; para esto, el área basal tiende a ser un buen indicador de la biomasa total. Los árboles seleccionados se cortan y se cuantifica su biomasa, y se multiplica el peso del árbol promedio por la densidad de árboles del sistema para obtener un estimado de la biomasa total. Pueden incluirse algunas modificaciones, tales como un muestreo estratificado, el método de la relación de área basal o la utilización de valores de promedio ponderado (MacDiken 1997). El número de árboles por cortar depende del número de estratos del sistema.

**2) Biomasa herbácea.** La pastura es el principal componente herbáceo de los sistemas silvopastoriles. El método de muestreo en estos sistemas depende básicamente de la distribución de árboles en la pastura: árboles dispersos o en callejones. Los muestreos deben capturar toda la variabilidad en la biomasa herbácea, lo cual se logra localizando los puntos de muestreo a diferentes distancias de los árboles en el caso de los árboles dispersos (López *et al.* 1999), o en diferentes franjas respecto a la línea de árboles en sistemas silvopastoriles en callejones (Velasco *et al.* 1999, Andrade 1999).

La biomasa herbácea puede cuantificarse mediante marcos de muestreo (50 x 50 cm). Se ubica el marco en los sitios de muestreo, se corta todo el material herbáceo que se encuentre dentro de él y se pesa en fresco, tomando una submuestra de alrededor de 200 g para determinar el contenido de materia seca en el laboratorio. Es posible emplear una adaptación de este método —llamado de doble muestreo—, consistente en un muestreo real y otro visual. Se trata de la construcción de una regresión entre estimaciones visuales —1 (bajo) a 5 (alto)— de la biomasa y la biomasa real en varios puntos de muestreo. Al final, se realiza una evaluación visual de la cantidad de biomasa por punto, se promedia para todo el sistema y se estima su biomasa con base en la regresión construida. El método de do-

ble muestreo ofrece la ventaja de disminuir el número de muestras, abarcando una mayor área; sin embargo, se disminuye la precisión de la estimación.

### **Biomasa bajo el suelo**

Los sistemas radiculares representan la biomasa bajo el suelo y constituyen otro sumidero de carbono. En proyectos de fijación de carbono este componente es importante, ya que corresponde a entre un 10 y un 40% de la biomasa total (MacDiken 1997). La biomasa de las raíces puede estimarse básicamente por dos procedimientos: (1) medición directa y (2) uso de modelos.

**1) Medición directa de biomasa de raíces.** Esta técnica demanda muchos recursos y arroja, por lo general, niveles moderados de precisión, debido a la amplia variabilidad en la distribución de las raíces en el suelo (MacDiken 1997). Aunque la mayor proporción de biomasa bajo el suelo se encuentra en las raíces estructurales, la mayoría de los protocolos de monitoreo considera solo las raíces finas ( $d < 2$  mm), ya que son las más dinámicas (MacDiken 1997, Snowdon *et al.* 2001). Esto se debe a que la estimación de la biomasa de raíces estructurales se realiza por medios destructivos (Böhm 1979).

El método más usado es el de muestreo con barreno de golpe, el cual consiste en la toma de muestras de suelo con un barreno de volumen conocido (cilindro de 8 cm de diámetro por 25 cm de longitud). Posteriormente, se deben separar las raíces del suelo y por especies y estimar su biomasa. Es importante realizar una estratificación del suelo según la profundidad, ya que, generalmente, la mayor densidad de raíces finas se encuentra en los horizontes superficiales del suelo.

**2) Uso de modelos o relaciones de biomasa de raíces.** Debido a los costos elevados del muestreo de raíces, en algunos proyectos podría ser mejor estimar su biomasa usando modelos; no obstante, la literatura sobre este tema es escasa. Algunos valores de biomasa en bosques tropicales sugieren que la relación biomasa de raíces:biomasa aérea varía de 0,03 a 0,49; sin embargo, se podrían emplear valores más conservadores (0,10 a 0,15; MacDiken 1997). Otros autores consideran las condiciones climáticas como un factor importante en esta relación; de esta forma, la biomasa de raíces representa el 10% de la biomasa sobre el suelo en áreas húmedas y cerca del 30% en áreas semiáridas (Dixon 1995). Algunos modelos de biomasa podrían ser considerados como referencia (Kurz *et al.* 1996; Cuadro 4).

**Cuadro 4** Modelos alométricos para la estimación de biomasa de raíces.

Tipo de especie	Variable	Modelo
De madera suave	Biomasa de raíces	BR = 0,231 (BA)
De madera dura	Biomasa de raíces	BR = e <sup>0,359</sup> BA <sup>0,639</sup>
Todas	Proporción de raíces finas	Pf = e <sup>1,007</sup> BR <sup>-0,841</sup>

Fuente: Kurz *et al.* (1996).

BR: biomasa de raíces (t MS ha<sup>-1</sup>); BA: biomasa aérea (t MS ha<sup>-1</sup>); Pf: proporción de raíces finas (máximo 0,9).

### Hojarasca

La hojarasca comprende todos los residuos orgánicos (hojas, ramas, frutos y semillas) de la superficie del suelo. La cuantificación de este componente es similar a la descrita en el caso del componente herbáceo, la cual es relativamente sencilla y consiste en el pesaje de todo el material vegetal encontrado en marcos (50 x 50 cm), y la toma de una muestra para transformar estos valores a materia seca. En este caso, no es necesario estimar la caída de hojarasca (MacDiken 1997), ya que los inventarios de carbono miden el contenido de carbono en cada componente en un momento dado.

### ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA

La estimación del almacenamiento de carbono se realiza a partir de los inventarios de la biomasa del ecosistema, empleando la fracción de carbono, que representa el porcentaje de carbono en la biomasa. Las estimaciones del carbono almacenado en sistemas arbóreos asumen, en su mayoría, un valor de 0,5 (Brown y Lugo 1984, IPCC 1996). La fracción de carbono puede variar típicamente entre 0,42 y 0,47 en el fuste de árboles en sistemas silvopastoriles (Andrade 1999, Ruiz 2002).

### Carbono orgánico en suelos

El suelo es un gran sumidero de carbono; sin embargo, los proyectos de carbono no le prestan la atención requerida, ya que las negociaciones de carbono actuales no incluyen este componente, debido a que no es tan visible como la biomasa por encima del suelo. El cambio en el carbono orgánico del suelo debe ser medido a lo largo del sitio del proyecto, a una profundidad de 30 cm, ya que el cambio de uso del suelo ejerce el mayor efecto en las capas superiores (IPCC 1996).

El almacenamiento de carbono orgánico en los suelos depende de dos variables importantes: (1) la concentración de carbono orgánico en suelo y (2) la densidad aparente.

### 1) Concentración de carbono orgánico en los suelos.

Los suelos agrícolas contienen carbono orgánico, pero no todos los suelos contienen carbono inorgánico (carbonatos). Comúnmente, se emplea el método de Walkley y Black (1938) para determinar el carbono orgánico del suelo. Aunque este método tiene algunas limitaciones, es altamente recomendado cuando no se requiere conocer el contenido total de carbono (MacDiken 1997). Otros métodos estiman la concentración de carbono directamente, tales como los analizadores de C y N.

**2) Densidad aparente.** Esta propiedad física de los suelos es el peso por unidad de suelo, y permite conocer el peso de cierto volumen de suelo para hacer las estimaciones del carbono orgánico por unidad de área. La determinación de la densidad aparente es sencilla; entre los métodos más comunes se encuentran el método del cilindro y el del terrón de suelo parafinado. El método del cilindro consiste en introducir un cilindro metálico al suelo, extraer la muestra de volumen conocido y secarla en un horno (a 100 °C, por 72 horas) para determinar su peso. Posteriormente, el peso se divide entre el volumen de suelo (volumen interno del cilindro).

El contenido de carbono orgánico en suelos se calcula con base en las dos variables anteriores y mediante la Ecuación 5.

**Ecuación 5.** Estimación del contenido de carbono orgánico en suelos.

$$COS = \%CO \times da \times P_s$$

Donde:

*COS*: carbono orgánico de suelos (t ha<sup>-1</sup>)

*%CO*: concentración de carbono orgánico en suelos (%). En caso de tener valores de materia orgánica,  $\%CO = 0,58 \times \%MO$ , según Walkley y Black (1938)

*da*: densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)

*P<sub>s</sub>*: profundidad del suelo (cm)

### Comprobación en el campo e informe de resultados

Se debe volver a medir entre el 1 y el 5% de todas las PPM dentro de las dos semanas después de la medición inicial (MacDiken 1997). Los reportes del secuestro de carbono deberían ser un tanto conservadores y muy confiables. Por lo general, los resultados se entregan en términos de intervalos de confianza o estimados mínimos confiables, ambos con un nivel de probabilidad de 0,05 (MacDiken 1997).

### AGRADECIMIENTOS

A Milena Segura, investigadora del Proyecto Cambio de Usos del Suelo y Flujos de Carbono para América Central, por la revisión y sugerencias para el mejoramiento de este documento.

### BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99(1-3):15-27.
- Andrade, HJ. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 70 p.
- Araújo, TM; Higuchi, N; De Carvalho Jr, JA. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 117: 43-52.
- Böhm, W. 1979. *Methods of studying root systems*. Berlin, GE, Springer Verlag. 179 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. Roma, IT, FAO. 55 p.
- \_\_\_\_\_; Gillespie, AJR; Lugo, AE. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.
- \_\_\_\_\_; Lugo, AE. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science* 223: 1290-1293.
- Ciesla, WM. 1996. Cambio Climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Roma, IT, FAO. 147 p.
- Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry systems* 31: 99-116.
- Gómez-Echeverri, L. (ed.) 2000. Cambio climático y desarrollo. San José, CR, PNUD-Yale School of Forestry and Environmental Studies. 465 p.
- Houghton, RA; Skole, DL; Lefkowitz, DS. 1991. Changes in landscape of Latin America between 1850 and 1985, II: Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Forest Ecology and Management* 38: 173-199.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Ciudad de México, MX.
- \_\_\_\_\_. 2000. IPCC Special Report: Land use, land use change and forestry. *s.n.t.*
- Kurz, WA; Beukema, SJ; Apps, MJ. 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1973-1979.
- López, A; Schlönvoigt, A; Ibrahim, M; Kleinn, C; Kanninen, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6(23): 51-53.
- MacDiken, K. 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
- Ortiz, ME. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71 p. (Serie de Apoyo Académico no. 16).
- Powell, M; Delaney, M. 1998. Carbon sequestration and sustainable coffee in Guatemala. Final Report. Arlington, VA, US, Winrock International. 14 p.
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Turrialba, CR, CATIE. 106 p.
- Segura, M; Kanninen, M. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In Orozco, L; Brumer, C. eds. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. CATIE. p. 202-212. (Serie Técnica, Manual Técnico no. 50).
- Snowdon, P; Raison, J; Keith, H; Montagu, K; Bi, K; Ritson, P; Grier-son, P; Adams, M; Burrows, W; Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. Australia, Australian Greenhouse Office. 114 p. (National carbon accounting system technical report No. 31). Draft.
- Velasco, A; Ibrahim, M; Kass, D; Jiménez, F; Rivas, G. 1999. Concentraciones de fósforo en suelos bajo sistema silvopastoril de *Acacia mangium* con *Brachiaria humidicola*. *Agroforestería en las Américas* 6(23): 45-47.
- Vine, E; Sathaye, J; Makundi, W. 1999. Guidelines for the monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification of forestry projects for climate change mitigation. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 125 p.
- Walkley, A; Black, CA. 1938. An examination of the Degtjareff's method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.

## ¿Cómo hacerlo?

# ¿Cómo medir la diversidad de aves presentes en los sistemas agroforestales?

Rachel Taylor<sup>1</sup>

**Palabras claves:** Abundancia de las aves; puntos de conteo; redes de niebla; trampas; transectos.

### INTRODUCCIÓN

En años recientes, se ha reconocido que los patrones globales de la utilización del suelo por parte del ser humano están cambiando la disponibilidad de los hábitats naturales para todos los organismos vivos. En el 2003, el 7,9% del área global de la Tierra fue clasificada como áreas protegidas y el 33% como regiones agrícolas (BirdLife International 2004). La deforestación y conversión de hábitats naturales en áreas agrícolas resulta en cambios dramáticos en la cobertura arbórea y en un aumento en el uso de pesticidas, herbicidas, fertilizantes y otros insumos agrícolas que pueden tener efectos negativos en la diversidad de las especies vegetales y animales.

Hay evidencias de que las áreas protegidas del mundo no son lo suficientemente grandes como para preservar la biodiversidad estando aisladas y afectadas directa e indirectamente por los cambios en la utilización del suelo que suceden a su alrededor. Dado que el área del planeta bajo sistemas agropecuarios se incrementa para sostener a la creciente población humana, el uso de los sistemas agropecuarios sostenibles amigables con la biodiversidad cobrará cada vez mayor importancia. Los sistemas agroforestales —incluyendo los sistemas silvo-pastoriles— se pueden diseñar y manejar para apoyar la conservación de la biodiversidad, pero solamente si los efectos de estas prácticas de manejo pueden ser determinados correctamente.

En este documento, se describen algunos de los métodos más comunes para caracterizar las comunidades de aves terrestres en sistemas agroforestales. Las aves terrestres (grupo que no incluye las aves del mar ni otros

pájaros acuáticos o los que raramente tocan tierra, como por ejemplo las golondrinas) son uno de los grupos de organismos apropiados para evaluar la biodiversidad en los sistemas agroforestales por varias razones: primero, son un grupo relativamente bien estudiado, fácil de identificar y trabajar, numeroso y visible en el paisaje; segundo, este grupo presenta comunidades flexibles, que incluyen una gama de especies con una movilidad diferenciada, requisitos de hábitat y adaptabilidad a los cambios; en tercer lugar, son sensibles a los cambios rápidos y acumulativos de las prácticas de manejo del suelo, y además pueden indicar cambios en otros grupos de organismos (por ejemplo, las plantas o los insectos); finalmente, son un grupo accesible, popular y atractivo para su uso en discusiones con finqueros, propietarios y el público en general, y pueden servir como especie de vanguardia para los esfuerzos de conservación.

### MÉTODOS

Existen muchos métodos diferentes para caracterizar la diversidad y abundancia de las aves, y la elección de uno u otro depende de los objetivos de la evaluación y de los datos específicos requeridos. Los métodos se pueden dividir en aquellos que requieren solamente la observación de las aves —tales como transectos y puntos de conteo— y en los que requieren la captura de los pájaros —con redes de niebla, por ejemplo—. Cada método tiene ventajas y desventajas y está sujeto a tipos particulares de sesgo en los muestreos. Su selección dependerá del propósito del estudio, de los tipos de datos requeridos, de la disponibilidad de tiempo, equipo, recursos financieros y humanos, entre otros.

<sup>1</sup> Candidata Doctoral del programa conjunto CATIE-Universidad de Gales (Bangor). Correo electrónico: fidhw@yahoo.com (autor para correspondencia).

Los párrafos siguientes introducen brevemente los métodos más comunes y el tipo de datos que pueden proporcionar. Estos métodos se dividen en dos grandes grupos: *métodos sin captura de aves y métodos que sí involucran captura*.

### 1. Métodos sin captura de aves: transectos y puntos de conteo

Existen dos métodos principales para medir la biodiversidad de aves a través de observaciones directas: el uso de *transectos* y el uso de *puntos de conteo*. Ambos métodos consisten en una búsqueda de aves en un área definida en el campo y/o por un tiempo definido; por ejemplo, buscar y registrar activamente todas las aves vistas en un período de 20 minutos o en un potrero de 2 ha.

#### El método de transectos

El método de transectos consiste en recorrer una distancia en una dirección determinada en el hábitat o sitio (generalmente a una distancia estándar del observador, por ejemplo, 25 m) registrando todos los pájaros observados (Figura 1). El número de transectos —muestras del hábitat— necesario para cada hábitat puede ser estimado con una gráfica de número de especies (acumulativa) por transecto (Figura 2); cuando la gráfica está casi horizontal, se obtiene el número de transectos requerido por hábitat (en este ejemplo se necesitan por lo menos siete).

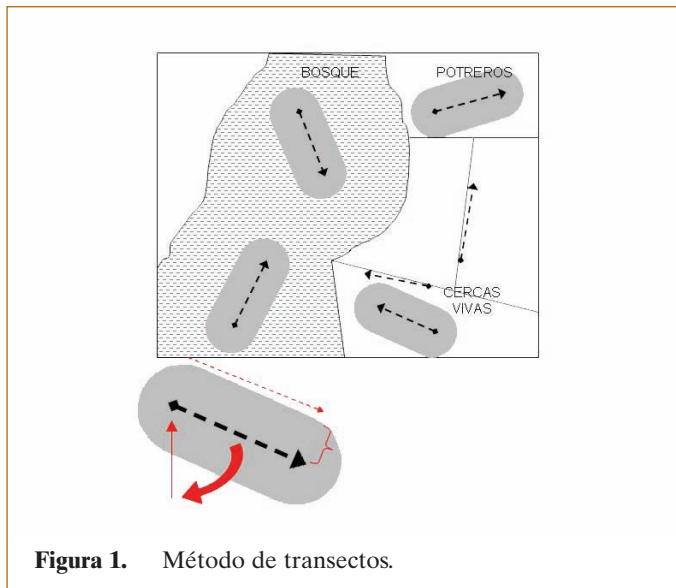


Figura 1. Método de transectos.

El punto y la dirección de partida pueden ser seleccionados al azar. Los sitios para los transectos por ser seleccionados deben ser lo más representativos posible del hábitat y, de preferencia, encontrarse fuera de la in-

fluencia de otros hábitats cercanos (por ejemplo, en el centro de un parche de bosque o de pasto, o la parte central de una cerca viva). Asimismo, los métodos deben estandarizar el número de transectos por hábitat y el tiempo de observación (o la velocidad del paso del observador) para facilitar la comparación entre sitios o hábitats.

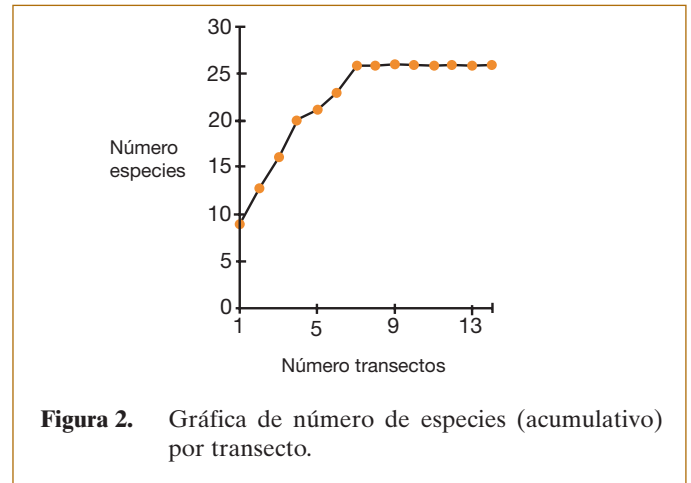


Figura 2. Gráfica de número de especies (acumulativo) por transecto.

#### El método de puntos de conteo

El método de puntos de conteo consiste en la observación de aves en puntos de observación predeterminados y estáticos, con tiempos definidos, en el cual el observador registra las aves visibles y/o audibles dentro de un área circular de un radio definido, donde se efectuará la búsqueda y el registro de las aves (v. gr. 25 m) durante un tiempo estandarizado (generalmente de 10 a 15 minutos). Por supuesto, resulta mejor estimar también el número de puntos necesarios con la gráfica de acumulación de especies (Figura 2) por hábitat, y utilizar el mismo esfuerzo de muestreo (con la misma metodología) para todos los hábitats.

En ambas metodologías, los investigadores deben anotar las especies de aves presentes, utilizando guías de identificación y el número de individuos de cada especie. Además, podrán recolectar información sobre el comportamiento de aves individuales, el sexo (en el caso de especies dimórficas), y la ubicación exacta del ave en el hábitat (sotobosque, dosel, etc.).

Ambos métodos son técnicas comúnmente utilizadas para comparar la diversidad de las aves en distintos hábitats. Tienen la ventaja de simplificar la selección al azar de los puntos en el espacio, de estar bien documentados y de facilitar el análisis de los datos (existen programas de cómputo creados específicamente para estos tipos de datos, como BioDiversity Pro, por ejemplo) y

no requieren de capacitaciones largas o costosas. Además, estos métodos son generalmente más baratos en términos de costos del equipo, ya que el observador requiere únicamente de sus ojos y oídos, y posiblemente de un par de binoculares para la identificación de las especies, un cronómetro y un cuaderno. Se puede utilizar un GPS en casos donde es necesario anotar la ubicación exacta de la posición del observador o del transecto, o un punto de conteo para su uso posterior en un sistema de información geográfica (SIG).

Otra ventaja de las observaciones directas de las aves en el campo es el potencial que ofrecen para registrar los datos del comportamiento de las aves en cada lugar (¿qué están haciendo las aves en el sistema agroforestal?). Aunque el registro del comportamiento en el campo puede ser muy difícil y consumir mucho tiempo, puede dar lugar a información interesante, como por ejemplo si los pájaros pasan realmente la mayoría de su tiempo en el sitio o lo visitan simplemente para alimentarse, y cuántas horas del día pasan allí. Los registros del comportamiento de las aves deben hacerse por categorías de actividades fácilmente identificables, como la alimentación, el canto, la búsqueda de insectos en las ramas, la edificación, etc. Además de registrar el comportamiento de las aves, es posible obtener información sobre qué parte del sistema están utilizando (sobosque, copa de los árboles, dosel, etc.) y de qué manera. En estas observaciones, se debe evitar molestar a las aves con el movimiento o el ruido del observador, además de planificar la presencia del observador durante cierto tiempo (aproximadamente unos 10 minutos) antes de comenzar a registrar el comportamiento. También puede ser apropiado realizar las observaciones desde un refugio para el caso de aves muy tímidas o dentro de hábitats muy abiertos, con el fin de no molestarlas.

A pesar de ser metodologías útiles y fáciles de implementar, el uso de puntos de conteo y transectos está sujeto a los siguientes errores sistemáticos, que deben ser tomados en cuenta:

— *Habilidad y subjetividad del observador*: la identificación confiable de las especies de las aves, de sus cantos o llamadas y su observación en el campo requieren de experiencia y familiaridad con la comunidad local de estas. Los observadores principiantes necesitan tiempo para familiarizarse con las especies presentes y deberán ensayar los métodos por un período prudencial antes de tomar los datos definitivos.

— *Las diferencias entre los hábitats*: estos métodos son los más apropiados para comparar hábitats similares en diversas horas del día o del año, o en diversos paisajes, porque los hábitats con estructuras vegetativas muy diversas (potreros y bosque, por ejemplo) presentan varios desafíos, ya que las aves despliegan distintas gamas audibles en los cantos o llamadas. Por lo tanto, la estandarización y la comparación entre las comunidades de diversos hábitats son difíciles.

— *Las diferencias en la detección de especies diferentes de aves*: ciertas especies pueden ser muy fáciles de observar, gracias a sus comportamientos de caza y de exhibición, o por sus cantos o llamadas ruidosas; otras pueden ser mucho más tímidas, con plumaje críptico o con vocalizaciones muy tenues. También se requiere de práctica para contar de manera confiable y exacta las aves que viajan en grupos sociales grandes. Así, las tasas de detección se predisponen hacia las aves coloreadas con tonos más brillantes, las especies altamente vocales y las de comportamiento obvio.

— *Las aves no pueden ser identificadas individualmente*, por lo que un mismo individuo puede ser contabilizado más de una vez, particularmente si el período de la observación es largo en referencia a los movimientos del pájaro. Por eso, el período de observación es generalmente de 20 minutos o menos, para evitar que se cuente la misma ave dos veces.

— *Disturbio*: ciertas especies reaccionarán inmediatamente a la presencia del observador, desocupando el área de observación, mientras que otras (u otros individuos) pueden ser menos cautelosas. El efecto del disturbio en sitios con puntos de conteo puede ser estandarizado dando un período de al menos 5 minutos entre la llegada del observador al punto y el comienzo del conteo.

¿Cuándo utilizar puntos de conteo o transectos?

Estos métodos son los más apropiados para comparar la diversidad de la comunidad de aves (o el uso del hábitat por especies particulares) entre sitios similares, por ejemplo en sistemas silvopastoriles con distinta carga de ganado, o para comparar la riqueza de especies de aves en un sistema agroforestal en estaciones diferentes.

En cambio, si la investigación propuesta requiere una comparación entre hábitats con estructuras muy diversas (bosques o plantaciones de árboles y un potrero más abierto), los métodos que permiten el reconocimiento de individuos previamente contados y las técnicas de

muestreo más estandarizadas pueden ser más apropiados. Generalmente, éstos requieren la captura de las aves.

## 2. Métodos que involucran la captura de las aves: trampas y redes de niebla

La diversidad de las aves puede ser registrada al capturarlas temporalmente, en redes de niebla u otros tipos de trampas, para identificarlas y contarlas. Hay muchos diseños diferentes de trampas para aves, pero en este artículo, por falta de espacio, solamente se menciona la trampa Heligoland.

### Redes de niebla

Estas redes son el equipo más utilizado para capturar aves en Europa y los Estados Unidos. Consisten en una red de poliéster, muy fina y delgada, sostenida por líneas más fuertes (también de poliéster) y estirada entre postes de metal o bambú (Figura 3). Las aves son capturadas cuando vuelan hacia la red y quedan atrapadas dentro de ella. Cuando están atrapadas en las redes, las aves son muy sensibles a las condiciones climáticas, como la temperatura del aire, la lluvia o el viento. Por lo tanto, es importante no mantenerlas por mucho tiempo en la red después de la captura: los colibríes deben ser liberados después de 20 minutos (o menos en la mañana) y para otras aves el tiempo máximo recomendado es menor a una hora. Se recomienda revisar las redes cada 15 minutos, para poder las liberar las aves rápidamente. Además, si las condiciones climáticas son adversas (mucho lluvia con viento), se recomienda cerrar las redes hasta que mejoren.



Figura 3. Red de niebla.

### Trampas

Hay muchos tipos diferentes de trampas usadas para capturar aves. Uno de los tipos más populares se llama trampa Heligoland. Estas trampas están hechas de un alambre fino, construidas en forma de cono muy grande, de aproximadamente 3 m de alto y 10 de ancho, con una caja para capturar y sacar las aves por el lado más estrecho (Figura 4). Las aves pueden entrar por el lado grande y abierto, pero no logran escapar. Para capturarlas, los operadores caminan por ese lado y pueden mover las aves hacia la caja. Este tipo de trampa se utiliza a menudo para capturar aves migratorias en lugares permanentes (como estaciones de monitoreo), debido a la inversión de materiales, el tiempo y la perturbación de la vegetación. La ventaja más importante es que puede usarse en todo tipo de condiciones climáticas.

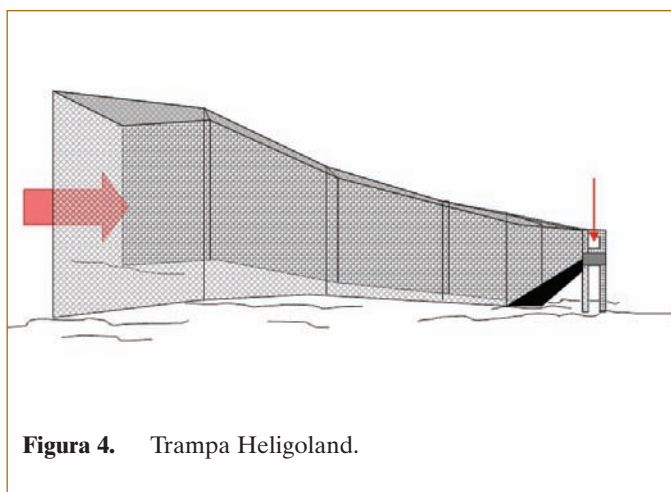


Figura 4. Trampa Heligoland.

Con las redes y trampas se pueden obtener muestras de las aves sin importar la experiencia de los operadores. Muchas especies difíciles de identificar en el campo pueden ser identificadas en la mano y, también, hay oportunidades para conseguir más información sobre los individuos. Para comparar entre hábitats, es importante desarrollar un trabajo igual en ellos, con el mismo número, altura y longitud de redes y el mismo número de horas monitoreadas.

El procedimiento estandarizado con redes o trampas ofrece algunas ventajas sobre los de transectos o puntos de conteo: es más objetivo, ya que todos los pájaros capturados se identifican y se cuentan, y es relativamente poco sesgado por diferencias entre las capacidades de los operadores. Las redes y trampas también producirán una muestra al azar dentro de cada especie, lo cual hace que este método sea más eficaz que los métodos de observación, principalmente en sitios con una estructura

densa de la vegetación o en otras situaciones en donde los pájaros no se observan ni se cuentan fácilmente.

Los individuos capturados anteriormente (si son marcados) pueden ser identificados como individuos y ser analizados por separado de ser necesario, por ejemplo, para calcular poblaciones de aves en hábitats distintos. Esta información proporciona una demografía detallada respecto a la edad y el sexo, así como datos del estado reproductivo (y otras condiciones de las aves, como la grasa subcutánea y la muda de las plumas) que pueden ser utilizados para formular hipótesis sobre causas de cambios de la población.

Sin embargo, estos métodos de captura también presentan desventajas:

— *Diferencias entre especies*: son métodos relativamente selectivos con respecto a las especies, y no capturarán muchos individuos presentes en el área que pudieran ser incluidos en un conteo visual (por ejemplo, especies que viven en las copas de los árboles y no bajan al nivel de las redes).

— *Clima y tiempo*: la eficacia de las redes es afectada por las condiciones atmosféricas severas (viento, lluvia, temperatura), y el clima adverso puede impedir la recolección completa de datos en pocos días.

— *Diferencias físicas del hábitat*, como la altura del dosel, pueden afectar los totales de la captura más que en los métodos de observación. Podría ser necesario el registro de la estructura física del hábitat e incluso su mantenimiento en los sitios en el largo plazo.

— *Variación diaria en el uso de hábitats*: las aves son un grupo de organismos muy móviles. La gran variación diaria en cuanto al número de pájaros en algunos sitios o en algunos hábitats puede dificultar el uso de redes o trampas en números o localizaciones constantes.

— *Disposición de los agricultores*: las redes son delicadas y son dañadas fácilmente por el ganado, limitando su uso en los hábitats agrícolas porque pueden poner en peligro las aves.

— *Costo*: La captura y la manipulación de pájaros pueden ser amenazantes para ellos y se requieren habilidades especiales para no maltratarlos. Antes de empezar a utilizar redes de niebla o trampas, es necesario estar capacitado y adquirir los permisos necesarios. El costo del equipo y del entrenamiento para los operadores será más alto que en los estudios de observación.

*¿Cuándo se deben utilizar redes de niebla o trampas para muestrear aves?*

Se recomienda utilizar redes de niebla o trampas si el trabajo proyectado requiere información sobre la po-



Hembra de *Ramphocellus passerinii* con anillos de colores, capturada en Río Frío, Costa Rica.



blación de aves y no es solo para comparar su uso del hábitat, o si se está registrando la biométrica individual (peso corporal) y, por lo tanto, se necesita evitar la medición del mismo individuo dos veces. Además, son útiles para estudiar los movimientos de aves entre hábitats, porque estas se pueden marcar con diferentes anillos que permiten reconocer individuos y saber si se han movido de un sitio a otro.

#### *¿Cómo marcar las aves con anillos?*

La mayoría de la especies de pájaros se pueden marcar de manera segura utilizando cuidadosamente los anillos que se colocan en el tarso (pata). El tipo de anillo más conocido es probablemente el anillo de metal numerado, utilizado en esquemas nacionales en todo el mundo para anillar aves. Su tamaño es específico para cada especie de pájaro y dura toda la vida del ave; cada una se numera singularmente. En ciertas condiciones, estos anillos pueden conseguirse gratis o más baratos de organizaciones nacionales e internacionales que trabajan con pájaros, aunque estas imponen restricciones a su uso para las especies residentes en países sin esquemas nacionales. Sin embargo, los números no se pueden leer en el campo (aunque se puede observar el pájaro que está anillado) y el individuo debe ser recapturado para la identificación, lo cual aumenta el estrés y la posibilidad de lesionar el pájaro.

Otra opción son los anillos de plástico de colores y/o numerados. Los colores y/o los números de esos anillos se pueden leer en el campo mediante los binoculares, y se puede identificar cada individuo sin necesidad de recapturarlo. La identificación individual depende de una combinación del color del anillo y de su posición respecto a las patas. La mayoría de las aves "pasarinas" pueden usar dos anillos por cada pata, arrojando una combinación de cuatro anillos (Figura 5). Estos anillos de colores no tienen la misma duración que los anillos de metal y se pueden perder o el mismo pájaro se los puede quitar. También pueden decolorarse o mancharse y así ser más difíciles de leer con el transcurso del tiempo y el uso. Hay varios tipos de plásticos que son más resistentes a los rayos ultravioleta y están disponibles para estudios en el largo plazo o en hábitats con luz muy intensa. Para las especies más grandes, o con las que hay mayor dificultad de acercamiento (como los zopilotes), pueden utilizarse etiquetas de ala numeradas, que son visibles durante el vuelo, pero su uso está sujeto a un entrenamiento previo.

Finalmente, hay algunos grupos (como los colibríes) que son tan pequeños y físicamente delicados que no existen

sistemas permanentes de marcas para ellos. Los individuos pueden ser marcados temporalmente con los anillos numerados, realzados con una hoja de metal, o con marcas temporales, como un punto de líquido corrector blanco en las plumas de la corona. Otra opción es usar el corte de una muesca o de un patrón muy pequeño de muescas en la paleta de una pluma específica de la cola. Estas técnicas se pueden utilizar también para marcar una especie más grande, pero son terminantemente temporales, pudiéndose perder por muda y pérdida accidental de las plumas, o disminuir la capacidad de vuelo o las señales visuales del plumaje, y por lo tanto la supervivencia y éxito de la crianza.

#### **¿A qué hora del día y en cuáles épocas se deben estudiar las aves?**

La mayoría de los pájaros diurnos son más activos durante las primeras horas del día, cuando sus altas tasas metabólicas los obligan a alimentarse para sustituir la energía perdida por la termorregulación o la inhabilidad de alimentarse durante la noche. Esto significa que la observación y el muestreo de la actividad de los pájaros deben estandarizarse con respecto a la hora del día relativa a la salida del sol, para evitar la predisposición a la comparación. Las redes de niebla son generalmente mejor manejadas desde el amanecer hasta un corto tiempo después (para reducir la captura indeseada de los murciélagos, que puede ser peligrosa para los operadores y para los pájaros capturados, además de dañar las redes). Este período es a menudo el más fresco del día, y en los países, los hábitats o las estaciones con altas temperaturas durante el día brinda la ventaja adicional de ayudar a reducir el estrés de los pájaros. Las redes de niebla también se pueden colocar antes de que oscurezca, mientras los pájaros se retiran a descansar por la noche, pero este período puede ser más peligroso para los pájaros diurnos, ya que no pueden ver bien en la oscuridad y pueden confundirse y descansar en lugares inadecuados y estar expuestos a una alta depredación si se los libera. El método de puntos de conteo o transectos también debe realizarse en estas horas de máxima actividad, pero la época de la visita debe ser registrada y un sitio individual se visita varias veces a diferentes horas del día para incluir datos sobre especies con patrones de actividad diferentes en el hábitat.

La composición de comunidades de aves cambia durante el año, debido a la llegada y salida de especies migratorias. Hay aves migratorias con sitios de reproducción en Norteamérica que pasan el invierno en América del Sur o Central. Hay otras que se reproducen en Centroa-

mérica y pasan el verano en Sudamérica. Hay especies que tienen movimientos migratorios con altitud, entre las montañas y áreas más bajas. Por ejemplo, en Costa Rica, las aves migratorias de Norteamérica están presentes entre octubre y mayo, con diferencias sutiles entre especies. En los meses de octubre y mayo también hay un alto número de especies que migran hacia Sudamérica. Si un estudio requiere datos sobre estos grupos (tantos de aves residentes como migratorias), entonces es importante muestrear las aves en todas estas épocas. Además, para obtener datos sobre la dinámica de las comunidades a través del tiempo, es necesario repetir los muestreos de la población o comunidad de aves en varias épocas o años.

### AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a Patricia Hernández la traducción del artículo, y a Celia Harvey los comentarios a los primeros borradores.

Esta investigación se realizó como parte del proyecto FRAGMENT (“Developing Methods and Models for Assessing the Impacts of Trees on Farm Productivity and Regional Biodiversity in Fragmented Landscapes”), financiado por el European Community Fifth Framework Programme (INCO-Dev ICA4-CT-2001-10099). Los autores son responsables del material reportado en este trabajo; esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y la Comunidad Europea no es responsable del uso de los datos que aquí aparecen

### BIBLIOGRAFÍA

- Bibby, CJ; Burgess, ND; Hill, DA; Mustoe, SH. 2000. Bird census techniques. 2 ed. London, UK, Academic Press. 250 p.
- BirdLife International. 2004. State of the world's birds 2004: indicators for our changing world (en línea). Cambridge, UK, BirdLife International. Disponible en: <http://www.birdlife.org.uk/action/science/species/sowb/p32-33.pdf>.
- Bub, H. 1995. Bird trapping and bird banding: A handbook for trapping methods all over the world. Trads. F. Hamerstrom; Wuertz- Schaefer, K. Estados Unidos, Cornell University Press. 330 p.
- McAleece, N. 2004. Biodiversity Pro (en línea). Consultado 29 jun. 2004. Disponible en <http://www.sams.ac.uk/>
- NORAC (North American Ornithological Atlas Committee). 2004. Handbook for atlasing North American breeding birds (en línea). Consultado 29 jun. 2004. Disponible en <http://www.americanbirding.org/norac/atlasintro.htm>.
- Pyle, P. 1997. Identification guide to North American birds. Bolinas, CA, US, Slate Creek Press. pt. 1, 732 p.
- Redfern, CPF; Clark, JA (comp.). 2001. BTO ringers' manual. 4 ed. Thetford, UK, British Trust for Ornithology. 269 p.
- Sibley, DA. 2001. The Sibley guide to bird life and behaviour. National Audubon Society, Chanticleer Press. 544 p.
- USGS (US Geological Survey). 2004. Bird banding laboratory. The North American bird banding program (en línea). Consultado en 29 jun. 2004. Disponible en <http://www.pwrc.usgs.gov/bbl>.
- \_\_\_\_\_. 2004. Procedures for collection, analysis, and display of data collected at several geographic scales (en línea). Consultado en 29 jun. 2004. Disponible en <http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/scale.html>.
- \_\_\_\_\_. 2004. PWRC software archive (en línea). Consultado en 29 jun. 2004. Disponible en <http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software.html>.

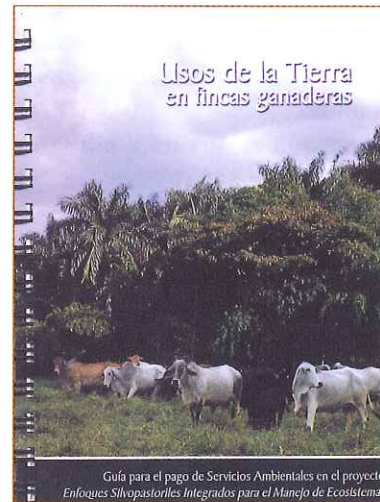
## Publicaciones agroforestales

### Usos de la tierra en fincas ganaderas: Guía para el pago de servicios ambientales en el Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas (2003)

Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, CE; Casasola, F. Cali, CO, CIPAV-CATIE-NITLAPAN. 97 p.

Este manual es una excelente guía para la valoración rápida de los servicios ambientales (secuestro de carbono y conservación de biodiversidad) en proyectos de desarrollo que incluyen sistemas silvopastoriles. Aunque este documento fue desarrollado para su uso en el proyecto *Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas*, ofrece las pautas para su adaptación y empleo en otras propuestas similares. La guía se encuentra dividida en cuatro secciones: (1) importancia y servicios ambientales de los sistemas silvopastoriles; (2) calificación del secuestro de carbono y conservación de biodiversidad generados por 28 sistemas de uso de la tierra; (3) puntuación y sistemas de pagos, con algunos ejemplos, y (4) descripción de los árboles y arbustos de uso múltiple más utilizados en Nicaragua, Colombia y Costa Rica.

La principal ventaja de este manual es su practicidad y fácil utilización; sin embargo, los índices de carbono y biodiversidad asignados a cada uso de la tierra deberían ser validados, ya que fueron obtenidos de la revisión de la literatura y el empleo de información complementaria y algunos supuestos.

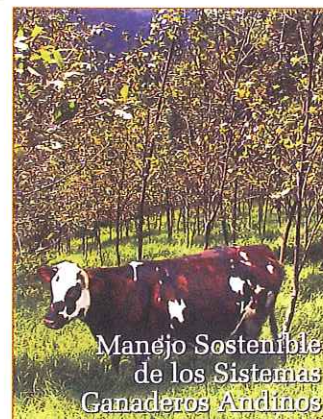


**Hernán J. Andrade**  
**Candidato Doctoral en Agroforestería**  
**Correo electrónico: handrade@catie.ac.cr**

### Manejo Sostenible de los Sistemas Ganaderos Andinos (2003)

Galindo, W; Murgueitio, E; Giraldo, LA; Marin, A; Berrio, LF; Uribe, F. Cali, CO, Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria -CIPAV. 213 p.

Este libro describe los principales efectos de la ganadería bovina y algunos estudios de su impacto sobre los recursos naturales, principalmente suelo y agua, en la zona andina colombiana. El libro documenta la problemática de esta región, donde la actividad ganadera ocupa más del 80% del área, y describe los cambios de uso del suelo a costa de la disminución de la cobertura boscosa. Cinco capítulos analizan los impactos ambientales, discuten diferentes herramientas para el manejo sostenible de los recursos, reportan resultados de especies arbóreas aptas para su inclusión en sistemas ganaderos y proponen nuevos enfoques de medicina animal alternativa.



**Jairo Mora-Delgado**  
**Investigador CATIE-LEAD**  
**Correo electrónico: jmora@catie.ac.cr**

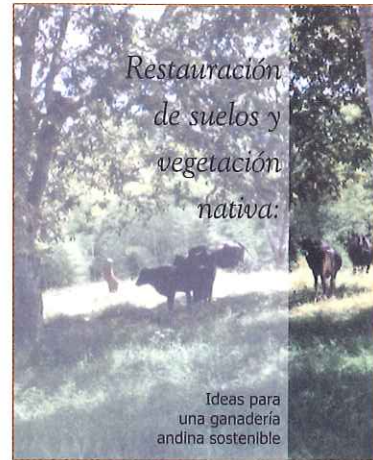
## Publicaciones agroforestales

### Restauración de suelos y vegetación nativa: Ideas para una ganadería andina sostenible (2003)

Calle, Z. Cali, CO, Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV. 96 p.

El objetivo de este libro es orientar la protección de tierras andinas en paisajes dominados por sistemas agropecuarios. El libro se dirige básicamente a técnicos agropecuarios y se ha dividido en cinco capítulos: (1) el papel de los árboles en las fincas campesinas; (2) la regeneración de árboles en potreros andinos; (3) de pastizal a bosque; (4) los sistemas silvopastoriles, y (5) el arboloco para la reforestación de tierras andinas.

Además de mostrar aspectos técnicos de la restauración de suelos, el texto ofrece una descripción de dos especies prioritarias para la zona —botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y arboloco (*Montanoa quadrangularis*)— y algunos resultados de investigación sobre regeneración natural de árboles en potreros. En resumen, este libro es una importante herramienta para lograr la sostenibilidad de los sistemas ganaderos andinos.

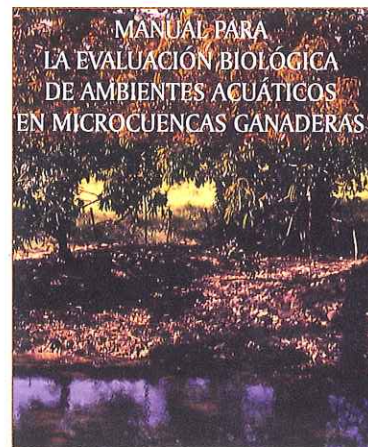


**Hernán J. Andrade**  
Candidato Doctoral en Agroforestería  
Correo electrónico: [handrade@catie.ac.cr](mailto:handrade@catie.ac.cr)

### Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas (2003)

Chará, J. Cali, CO, Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV. 52 p. + anexos.

Este manual, elaborado en el marco del Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas, describe los mecanismos mediante los cuales la agricultura y la ganadería afectan ambientes acuáticos locales y presenta pautas para la mitigación de estos impactos negativos. Adicionalmente, esta guía explica métodos para la evaluación biofísica, físico-química y biológica de los cuerpos de agua. Algunos de los métodos han sido adaptados al trópico de montaña, con base en los protocolos desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS) de los Estados Unidos. El manual se divide en tres grandes secciones: (1) aspectos conceptuales; (2) protocolo para el monitoreo biológico de ambientes acuáticos, y (3) interpretación de la información recopilada. El documento presenta información detallada para el monitoreo, pero los métodos de identificación de macroinvertebrados requieren del apoyo de personal entrenado y equipo especializado.



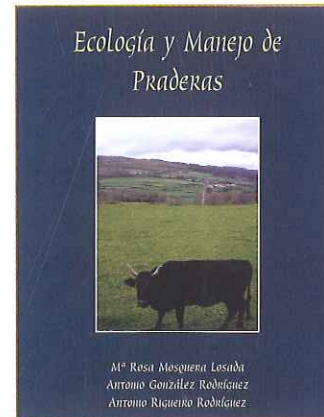
**Hernán J. Andrade**  
Candidato Doctoral en Agroforestería  
Correo electrónico: [handrade@catie.ac.cr](mailto:handrade@catie.ac.cr)

## Publicaciones agroforestales

### Ecología y Manejo de Praderas (2004)

Mosquera L, MR; González R, A; Rigueiro R, A; Santiago, ES, INIA. 214 p.

Este es un libro para el manejo práctico y ecológico de las praderas y su interacción con la carga animal en Galicia, que es una región de España dedicada principalmente a la producción de leche. El mayor recurso ganadero de Galicia son las praderas naturales, pero son escasamente productivas y se ubican en suelos muy poco fértiles. Aunque los escenarios ambientales que analiza este libro distan de la realidad de la ganadería tropical, el texto es útil para entender los fundamentos del manejo y la ecología de praderas en el marco de la interacción pasto-animal, entre otros factores que afectan la productividad de la explotación. El libro ilustra la dinámica de las praderas naturales y artificiales en cuanto a su composición y evolución botánica, densidad, factores ecológicos, manejo, ensilaje, productividad y calidad, y el efecto de la carga ganadera sobre las especies de gramíneas de interés para Galicia.



Jairo Mora-Delgado  
Investigador CATIE-LEAD

Correo electrónico: [jmora@catie.ac.cr](mailto:jmora@catie.ac.cr)

## Reseña Agroforestal

### El programa de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Nariño

Hace diez años, se estableció el programa de Ingeniería Agroforestal (IAF) en la Universidad de Nariño (UDENAR), en Colombia, ante la necesidad de integrar criterios y acciones productivas sostenibles en el ámbito rural para enfrentar el deterioro de los ecosistemas y el incremento de la pobreza rural. Los impactos ecológicos adversos de la agricultura moderna fueron ampliamente discutidos con diferentes sectores e instituciones del Departamento de Nariño. El resultado de estas discusiones fue la proposición y posterior creación de este programa en la UDENAR, la cual tiene su principal campo de acción en la Costa Pacífica, la zona Andina y la Amazonía colombiana.

La misión del programa de IAF es formar profesionales íntegros, con una sólida base ética, con conocimientos, habilidades y aptitudes técnico-científicas, sociales e investigativas que les permitan contribuir a la identificación de la problemática ambiental y a la búsqueda de soluciones en el ámbito de la relación ecología-cultura. La formación en IAF de UDENAR apunta a un conocimiento de las matemáticas y de las ciencias en la búsqueda de los recursos naturales renovables al servicio del ser humano, incluyendo criterios fundamentales como la competitividad, la equidad y la sostenibilidad.

El programa de IAF ha estructurado su contenido curricular de manera que se agrupen los diferentes núcleos temáticos en las siguientes áreas: ciencias básicas (30%), básica de ingeniería (31%), ingeniería aplicada (33%) y socio-humanística (6%). Los núcleos temáticos —actividades desarrolladas para alcanzar un fin único— de cada semestre giran en torno a un proyecto por tema (ciclo básico) o de un

núcleo problema (ciclos intermedio y avanzado). En los últimos semestres, se plantean áreas de profundización: 1) sistemas agroforestales (modelos de simulación agroforestal, planificación y evaluación de arreglos agroforestales, dinámica de nutrientes y arreglos agroforestales en cada ecorregión); 2) recursos naturales (manejo de áreas protegidas, biodiversidad, silvicultura de bosques naturales y economía de los recursos naturales), y 3) planificación y gestión ambiental (planificación y uso de la tierra, ordenamiento de usos de la tierra en las ecorregiones y política y legislación ambiental).

En la actualidad, los trabajos de tesis de pregrado se han enfocado en las siguientes áreas: 1) identificación y caracterización de sistemas agroforestales tradicionales; 2) manejo, uso y percepción de los productores sobre los arreglos agroforestales; 3) promoción, diseño e implementación participativa de arreglos agroforestales, y 4) evaluación de interacciones en sistemas agroforestales. UDENAR cuenta más de 100 egresados de IAF, de los cuales más del 80% están laborando en diferentes instituciones de la región y del país.

#### Contactos:

Jorge Fernando Navia ([jornavia@udenar.edu.co](mailto:jornavia@udenar.edu.co)),  
Jesús Castillo Franco ([jcastillo@udenar.edu.co](mailto:jcastillo@udenar.edu.co)) y  
William Ballesteros ([wballesterosp@yahoo.com](mailto:wballesterosp@yahoo.com))

Ciudad Universitaria Torobajo

Tel: (578) 7312289 - 7312895 - 7313604

Fax: (578) 7311449 - 7314478

[www.udenar.edu.co](http://www.udenar.edu.co)