

# SISTEMAS SILVOPASTORILES COMO UNA HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y REHABILITACIÓN ECOLÓGICA DE PAISAJES GANADEROS EN CENTRO AMÉRICA

Ibrahim, M<sup>1</sup>; Villanueva, C<sup>1</sup>; Casasola, F.<sup>1</sup>

## RESUMEN

El objetivo del presente documento es presentar los beneficios productivos y ecológicos de los sistemas silvopastoriles (SSP). Asimismo, mostrar el caso del proyecto GEF-Silvopastoril en relación al impacto del pago de servicios ambientales sobre la transformación de pasturas degradadas a SSP. En Centroamérica los SSP conspicuos son los árboles dispersos en potrero y las cercas vivas. La cobertura arbórea en potreros varía entre 6.8 y 16.5% y el 55% del total de individuos son representados por menos de 5 especies. La sombra de los árboles en potrero puede mejorar la producción de leche y carne en nivel del 15 - 20%, además, de otros productos arbóreos como madera, postes, leña, follaje para alimentación animal y frutos. En la generación de servicios ecológicos, los potreros con alta cobertura arbórea han mostrado resultados significativos en la protección del suelo (reduciendo la erosión), secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad (en términos de riqueza y abundancia). Para una mayor adopción de SSP en fincas, es necesario el uso de incentivos. En este sentido, el proyecto GEF-Silvopastoril en Costa Rica y Nicaragua por medio del PSA encontró que los productores en un período de 4 años redujeron las pasturas degradadas en 13 y 20% del área de la zona piloto en cada país respectivamente; dicho uso fue transformado principalmente en pasturas mejoradas con alta densidad de árboles<sup>1</sup> (36 y 15% para cada país respectivamente). Además, las cercas vivas tuvieron un crecimiento del 63 y 142% para cada país respectivamente.

**Palabras clave:** cobertura arbórea, pago de servicios ambientales, servicios ecológicos, sombra.

## ABSTRACT

The aim of the present document is to show the productive and ecological benefits of the silvopastoral systems (SPS). Likewise, to show the case of the GEF-Silvopastoral project in relation to the impact of the payment of environmental services on the transformation of degraded pastures to SPS. In Central America the eminent SPS are the dispersed trees in pastures and live fences. The tree cover in pastures changes between 6.8 and 16.5%, and 55 % of the whole of individuals are represented by less than 5 species. The shade of the trees in pastures can improve the production of milk and meat in level of 15 - 20%. In addition, of other arboreal products as wood, posts, firewood, foliage and fruit animal feeding. In the generation of ecological services, the pastureland with high tree cover has showed significant results in the soil protection (reducing the erosion), carbon sequestration and biodiversity conservation (in terms of richness and abundance). The use of incentives is keys to promote the adoption of SPS in cattle farms. In this sense, the GEF - Silvopastoral project in Costa Rica and Nicaragua by means of the SPS reduced the degraded pastures in the pilot zone the 13 and 20% in every country respectively. This use was changed mainly to improved pastures with high tree density (36 and 15 % for every country respectively). Furthermore, the live fences had a increasing of 63 and 142% for each country respectively.

**Key words:** ecological services, payment of environmental services, shade, tree cover.

## INTRODUCCIÓN

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 la creación de paisajes con mosaicos de monocultivos de pastos, cultivos agrícolas y fragmentos de bosques (Kaimowitz 2001). Asimismo, más del 50% de las pasturas se encuentran en un estado avanzado de degradación (Szott et al. 2000), esta condición representa para las fincas,

---

<sup>1</sup> Grupo de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. Email: [catie@catie.ac.cr](mailto:catie@catie.ac.cr)

<sup>1</sup> Según el manual de usos del suelo para el pago de servicios ambientales del proyecto GEF- Silvopastoril, equivale a un pastura con más de 30 árboles ha-1 cuyo diámetro a la altura del pecho sea superior a 5 cm (Murgueitio et al. 2003).

pérdidas económicas anuales por productos animales cercanas a los 83 US ha<sup>-1</sup> (Betancourt et al. 2006). La magnitud del impacto negativo por degradación de pasturas es más alarmante cuando se cuantifican las externalidades negativas relacionadas con la pérdida de la biodiversidad, la sedimentación de los ríos y la emisión de gases con efecto invernadero.

En vista de lo anterior, en América central existe un interés creciente por el diseño y manejo de los sistemas silvopastoriles, con el fin de mejorar y diversificar la productividad de las fincas, asegurando su sostenibilidad y brindando los servicios ecológicos tales como la conservación de las fuentes de agua, conservación de la biodiversidad y secuestro de carbono (Ibrahim y Harvey 2003). A pesar de la existencia de estudios científicos y casos exitosos, la adopción en fincas de sistemas silvopastoriles ha sido baja, esto se ha atribuido a la falta de capital, falta de conocimiento de la tecnología y escaso número de fincas con modelos silvopastoriles operando (Aldy et al. 1998, Alonzo e Ibrahim 2001). En este sentido, CATIE, NTILAPAN y CIPAV están desarrollando en Costa Rica, Nicaragua y Colombia un proyecto para evaluar el pago de servicios ambientales como estrategia para la promoción de sistemas silvopastoriles y otros usos de la tierra amigables con el ambiente en fincas ganaderas (Gobbi e Ibrahim 2004). El presente artículo enmarca el estado de los sistemas silvopastoriles tradicionales y mejorados, el impacto de los sistemas silvopastoriles en la productividad y generación de servicios ambientales en fincas ganaderas. Además, cómo el pago de servicios ambientales puede convertirse en una herramienta para incentivar la adopción de sistemas silvopastoriles y otros usos de la tierra amigables con el ambiente que favorezcan la rehabilitación ecológica de los paisajes dominados por la ganadería.

#### SISTEMAS SILVOPASTORILES TRADICIONALES

En Latinoamérica existen buenos ejemplos de SSP tradicionales como los potreros con árboles dispersos procedentes de la regeneración natural y cercas vivas. Los árboles en potrero presenta un estructura vertical multiestrato conformada por árboles y arbustos creciendo aislados o en grupos (Cajas-Giron and Sinclair 2001, Villanueva et al. 2004). En Centroamérica, los árboles dispersos en potreros muestran una riqueza y cobertura arbórea que varía entre 72 y 107 especies y 6.8 y 16.5% respectivamente. Además, las 5 especies más abundantes representan el 55% del total de individuos (Cuadro 1). Los patrones de riqueza de especies en potrero podría estar relacionado con la adaptación a las condiciones edafoclimáticas, plasticidad ante el manejo de pasturas y preferencias de los productores, lo cual se refleja con la presencia de especies comunes en zonas ecológicas similares. Con respecto a la densidad, esta depende de la

historia de uso de la tierra de los potreros, sistema de producción, demanda del recurso, tamaño de la finca y manejo de pasturas (mecanización agrícola y uso de herbicidas).

Los beneficios de la incorporación y retención de árboles en potreros se reflejan con la producción de productos maderables como madera, postes, leña, etc. Los cuales pueden generar incrementos en los ingresos en las fincas ganaderas entre 15 y 35% (Holmann y Estrada 1997, Botero et al. 1999). Existen estudios que muestran la estrategia de algunas fincas ganaderas, en utilizar follajes y frutos de los árboles dispersos en potreros en la alimentación animal; especialmente en la época seca, que es cuando se reduce la calidad y disponibilidad del recurso pasto. Entre las especies señaladas están el Guázimo (*Guazuma ulmifolia*), Madero negro (*Gliricidia sepium*) Cenízaro (*Pithecellobium saman*) y Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) (Zamora et al. 2001). Casasola et al. (2001) encontraron en la región del pacífico seco de Nicaragua, que los productores mantienen árboles de Carbón (*Acacia pennatula*) en pasturas, los cuales mostraron una producción de frutos que vario entre 28 y 35 kg árbol<sup>-1</sup> en época seca, dichos frutos son utilizados en la alimentación animal cuando la pastura de *Hyparrhenia rufa* decae en su producción y calidad.

La sombra de árboles en pasturas esta asociada a incrementos en la producción de leche y ganancia de peso entre el 13 y 28% (Souza de Abreu 2002, Betancourt et al. 2003, Restrepo et al. 2004; Cuadro 2); lo cual se atribuye a la reducción del estrés calórico e incrementos en el consumo voluntario de los animales (Souza de Abreu 2002).

El uso de cercas vivas esta asociado con la baja disponibilidad de postes muertos dentro o cerca de la finca y a la reducción de los costos de establecimiento y mantenimiento comparado a cercas muertas (Holmann et al. 1992). En Centroamérica, las cercas vivas presentaron una densidad de que varió entre 67 y 242 árboles km<sup>-1</sup> y la riqueza estuvo entre 27 y 85 especies (Harvey et al. 2005b). La mayoría de especies encontradas fueron nativas, lo cual reflejó su importancia para la conservación de la biodiversidad. Además, es importante considerar la integración de especies maderables y/o frutales para aumentar el valor de estos sistemas en conjunto con los productores ganaderos.

#### SISTEMAS SILVOPASTORILES MEJORADOS

Los sistemas más comunes incluyen los bancos de proteína en monocultivo y el asocio de leñosas con pasturas. En el primer sistema, la leñosas es establecida en altas densidades (20000 - 40000

**Cuadro 1.** Composición de especies y estructura de árboles dispersos en potrero (con diámetro mayor a 10 cm) en Cañas, Río Frío, Rivas y Matiguás.

Variable	Cañas, Costa Rica (n=5896 árboles en pasturas)	Río Frío, Costa Rica (n= 2482 árboles en pasturas)	Rivas, Nicaragua (n= 2297 árboles en pasturas)	Matiguás, Nicaragua (n=7994 árboles en pasturas)
Zona ecológica	Bosque seco tropical	Bosque húmedo tropical	Bosque seco tropical	Transición de bosque seco tropical a bosque húmedo tropical
Principal sistema de producción ganadero	Carne	Leche y carne	Doble propósito + agricultura	Doble propósito
Densidad de árboles promedio (árboles ha <sup>-1</sup> )	10.36±1	21.34±3	16.22±5.11	32.31±5.82
Cobertura arbórea promedio (%)	6.8±1	16.5±2	6.3±5.8	11.8±2.1
Número de especies promedio por finca	28.46±3.78	26.60±1.85	24.88±2.59	36.03±2.94
Número total de especies arbóreas en el paisaje	101	107	72	101
5 especies más comunes (% del total de árboles inventariados)	<i>Tabebuia rosea</i> (12.8%) <i>Guazuma ulmifolia</i> (12.6%) <i>Cordia alliodora</i> (12%) <i>Acrocomia aculeata</i> (10.2%) <i>Byrsonima crassifolia</i> (7.4%)	<i>Cordia alliodora</i> (25.9%) <i>Psidium guajava</i> (22.5%) <i>Pentaclethra macroloba</i> (4.7%) <i>Citrus sinensis</i> (4.7%) <i>Citrus limon</i> (3.1%)	<i>Cordia alliodora</i> (22.7%) <i>Guazuma ulmifolia</i> (15.2%) <i>Tabebuia rosea</i> (7.1%) <i>Byrsonima crassifolia</i> (6.6%) <i>Gliricidia sepium</i> (6.4%)	<i>Guazuma ulmifolia</i> (35.7%) <i>Cordia alliodora</i> (12.9%) <i>Tabebuia rosea</i> (5.8%) <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (5.7%) <i>Samanea saman</i> (4.9%)

**Fuente:** Villacís 2003 (Río Frío, Costa Rica); Villanueva et al. 2004 (Cañas, Costa Rica y Rivas, Nicaragua); y Ruiz et al. 2005 (Matiguás, Nicaragua).

**Cuadro 2.** Influencia de los árboles dispersos en potrero sobre la producción animal.

Ecosistema	Sistema de producción	Cobertura arbórea (%)	Respuesta por animal	Epoca	Referencia
Bosque subhúmedo tropical	Doble propósito	Baja (0 - 7%)	3.1 kg de leche día <sup>-1</sup>	Seca	Betancourt et al. 2003
		Alta (22 - 30 %)	4.1 kg de leche día <sup>-1</sup>		
Bosque seco tropical	Carne *	Baja (7 %)	-104 / 777 g día <sup>-1</sup>	Seca / Lluviosa	Restrepo et al. 2004
		Media (14 %)	-160 / 768 g día <sup>-1</sup>		
		Alta (27 %)	-93 / 893 g día <sup>-1</sup>		
Bosque húmedo tropical	Leche **	Media (10 - 15%) *	12.7 / 9.0 kg de leche día <sup>-1</sup>	Seca / Lluviosa	Souza de Abreu 2002
		Sin sombra (0%)	11.1 / 9.2 kg de leche día <sup>-1</sup>		

\* potreros con 19, 8 y 8 árboles ha<sup>-1</sup> respectivamente. \*\*Potreros con 9 árboles ha<sup>-1</sup>.

plantas ha<sup>-1</sup>), manejadas bajo adecuadas frecuencias de poda. El sistema es utilizado bajo corte y acarreo o ramoneo regulado de 2-4 hrs por día. Las especies más utilizadas, dependiendo las condiciones agroecológicas son *Gliricidia sepium*, *Cratylia argentea*, *Morus alba*, *Leucaena* spp, *Guazuma ulmifolia*, *Brosimum alicastrum*, *Trichanthera gigantea* y *Erythrina berteroana*. El segundo sistema, la densidad de plantas varía entre 7000 - 20000 plantas ha<sup>-1</sup>, el manejo implica un sistema de pastoreo rotacional que permita un periodo de recuperación de la leñosa y podas cuando las plantas están muy altas que no las pueden consumir los animales. La especie que ha mostrado la mejor respuesta bajo este sistema en varios países de Latinoamérica y otros continentes es la *Leucaena* spp y también existen algunos resultados alentadores con *Crescentia cujete* en Colombia.

#### BANCOS DE PROTEÍNA DE CORTE Y ACARREO

En producción de leche los estudios reportan incrementos que varían entre 4 hasta 37% en relación a dietas tradicionales (Casanovas et al. 2004, González et al. 2001, Camero et al. 2001). La suplementación con forraje de leñosas arbóreas ha tenido mayor impacto en la época seca en sistemas de doble propósito. En este sentido, Ibrahim et al. (2001) señalan que en vacas doble propósito utilizando caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) con *C. argentea* la producción se incrementó el 100% en comparación a la dieta tradicional conformada por pastoreo de *H. rufa* (6 vs 3 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Holmann y Estrada (1997) encontraron beneficios económicos con la utilización de bancos de *C. argentea*, ya que

estos aumentaron el ingreso neto de los productores en un 47% cuando el precio de la leche fue de US\$0.3 por kg al comparar cuando se utilizó solo la pastura *H. rufa*, pero cuando el precio cambió a US\$0.2 por kg la rentabilidad marginal fue cero. Con respecto a la producción de carne, los incrementos varían entre 27 a 157% en comparación a las dietas tradicionales conformadas únicamente por pasto (dieta base) (González et al. 1996, Roa et al. 2000, Burle et al. 2003). Los estudios tanto en leche como en carne, reflejan el impacto del forraje de leñosas en la producción animal; sin embargo, para una sólida recomendación es necesario contar con un análisis económico, social y ambiental para las diferentes opciones en los distintos ecosistemas. Igualmente, la variación de los resultados podría asociarse a factores propios de cada estudio, por ejemplo el suelo y clima, época del año, el tipo y calidad de dieta base sujeta a comparación, manejo del banco forrajero, edad del forraje a suplementar, dieta y ración total en estudio, genética de los animales, edad, salud y estado fisiológico de los animales y otros.

#### RAMONEO DE ÁRBOLES

Experiencias en este tema son pocas las documentadas, pero las que existen son muy exitosas. En producción de leche, en Cuba se han desarrollado trabajos destacados al asociar *Leucaena leucocephala* con pastos, donde se han alcanzado producciones de leche entre 8 y 10 kg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Hernández et al. 2001). En Colombia, Mahecha et al. (2002) evaluaron un sistema silvopastoril compuesto por *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis*

juliflora, encontrando que en sistemas comerciales de producción de leche, con una suplementación de 1.65 kg de salvado de arroz y 1.2 kg de gallinaza por animal por día, es posible obtener producciones promedias de 10.3 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Esta producción puede incrementarse en 1.3 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> si se incluye melaza en la suplementación a razón de 1.5 kg vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, lográndose mayor estabilidad en la producción entre períodos secos y lluviosos. En carne, en Cuba se han logrado ganancias de peso vivo de 500 a 600 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, equivalente a 700-800 kg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (Hernández et al. 2001). Ibrahim et al. (2000) encontraron que con dos horas de ramoneo diario con poro (*Erythrina berteroana*) y banano verde de rechazo, la ganancia de peso vivo en toretes de engorde se incrementó de 21 a 26% comparado con animales que solo se alimentaban con pasto. En Australia se ha utilizado *Leucaena leucocephala* asociado a pasturas de Buffel (*Cenchrus ciliaris*) los cuales han resultado altamente productivos y rentables y son una excelente estrategia para la suplementación animal en épocas de sequía, la asociación presenta un rendimiento seis veces superior a las pasturas nativas y del doble a una pastura con monocultivo de pasto Buffel en buenas condiciones (Cuadro 3).

#### SISTEMAS SILVOPASTORILES Y GENERACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES

Los sistemas silvopastoriles ofrecen una amplia gama de servicios ambientales entre los cuales se incluyen la conservación de suelos, regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono y la belleza escénica entre otros (Alavalapati et al. 2004).

#### CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA

El servicio ambiental hídrico es de todos los servicios ambientales el menos estudiado (Beer et al. 2003). Nepstad et al. (1994) encontraron en Brasil, que durante una temporada seca severa la disponibilidad

de agua a una profundidad de 2 - 8 m disminuyó de 380 mm en el bosque a 310 mm en la pastura degradada. La disminución en la disponibilidad de agua en el suelo de la pastura degradada significa que el ecosistema almacena menos precipitación respecto al bosque y existe menor filtración a los acuíferos o escorrentía sub-superficial a los arroyos en la época lluviosa. Al final de la época seca el bosque puede almacenar adicionalmente 770 mm de agua en los primeros 8 m del suelo comparados con los 400 mm en la pastura lo cual significa, que en el paisaje con dominancia de pasturas la escasez de agua puede convertirse en un punto crítico especialmente en la regiones áridas o semiáridas.

Estudios recientes realizados dentro del marco del proyecto GEF-Silvopastoril en Esparza, Costa Rica, muestran que la escorrentía fue significativamente más alta en las pasturas degradadas (42%) comparados con los bancos forrajeros con leñosas perennes (3%), bosques secundarios jóvenes (6%) y las pasturas con alta densidad de árboles (12%). Esto significa que los usos de la tierra con alta cobertura arbórea bajo las condiciones donde se realizó el estudio son beneficiosos para la captura de agua (Ríos et al. 2006). La implementación de bosques riparios en fincas ganaderas y la protección de las fuentes de agua del ganado condujeron a un mejoramiento en las condiciones biológicas, físicas y químicas del agua (Chará et al. 2004).

#### SECUESTRO DE CARBONO Y GASES DE EFECTO INVERNADERO

Neil et al. (1997) reportó que once de las catorce sitios convertidos a pasturas el carbono en el suelo se incremento. Todos los sitios con pasturas de al menos 10 años mostraron un incremento con unas tasas tan altas como 74.0 g C m<sup>2</sup> año<sup>-1</sup> en los 20 años. Veldkamp (1994) encontró una pérdida neta de 2-18% en los stocks de carbono equivalente en los

**Cuadro 3.** Ganancia de peso vivo en varios sistemas de producción en Australia.

Sistema de Forraje	Carga Animal (ha animal <sup>-1</sup> )	Ganancia de peso vivo (kg año <sup>-1</sup> )	
		(por animal)	(por hectárea)
Pastura Nativa-NQ	10	80-100	8-10
Pasto Buffel en buena condición	2	170-190	85-95
Pasto Buffel en mala condición	3	140-150	45-50
Leucaena + pasto Buffel	1.5	250-280	165-185

Fuente: Noble et al. 2000.

primeros 50 cm de suelo de bosque después de 25 años bajo pasturas en las tierras bajas de Costa Rica. En pasturas bien manejadas en área que anteriormente fueron bosques, cantidades significantes de hojarasca (de raíces y de hojas) son recicladas al sistema que resultaron en una acumulación de carbono orgánico en el suelo (COS) (Neil et al. 1997). Sin embargo, los sistemas radicales de las pasturas son generalmente concentrados en los estratos superiores (0-35 cm de profundidad) y hay poco carbono derivado de las pasturas en las capas más profundas. Tarre et al. (2001) en el estado de Bahía mostró que el establecimiento de pasturas de *Brachiaria* en áreas deforestadas provocaron una acumulación de COS (13.9 t ha<sup>-1</sup>) en el tiempo. Sin embargo, las muestras tomadas a una profundidad de 100 cm mostraron que debajo de 40 cm de profundidad no fueron significantes las contribuciones del carbono derivado de la pastura, y la integración de los árboles a las pasturas pueden incrementar la cantidad de carbono almacenado a grandes profundidades.

Los sistemas silvopastoriles juegan un papel importante en el secuestro de carbono en los suelos y en la biomasa leñosa (Beer et al. 2003). Sistemas silvopastoriles bien manejados pueden mejorar la productividad (Bustamante et al. 1998, Bolívar et al. 1999), mientras secuestran carbono (López et al. 1999, Andrade 1999), además del beneficio económico que representa para los productores. El carbono total en los sistemas silvopastoriles varía entre 68- 204 t ha<sup>-1</sup>, mucho de este se encuentra almacenado en el suelo, mientras que los incrementos anuales varían entre 1.8 a 5.2 t ha<sup>-1</sup>. La cantidad de C fijado en los sistemas silvopastoriles es afectada por el tipo de especies de gramíneas y leñosas, la densidad y la distribución espacial de las leñosas y de la tolerancia de las especies herbáceas a la sombra (Nyberg y Hogberg 1995, Jackson y Ash 1998). En las laderas de los andes ecuatorianos, el total del C secuestrado se incrementa en un 7.9 % bajo la pastura de *Setaria sphacelata* a 11.4% bajo la copa de *Inga* sp pero no se encontraron diferencias bajo la copa de *Psidium guajava*.

Mediciones de reservorios de carbono en paisajes del trópico sub húmedo de Nicaragua y Costa Rica mostraron que el carbono total almacenado (arriba y bajo el suelo) en bosques secundarios y en sistemas silvopastoriles fue más alto que lo encontrado en pasturas degradadas. En Esparza la cantidad media total de carbono almacenado en las pasturas con cobertura alta de árboles (25-35 árboles ha<sup>-1</sup>) fue de 132 t C ha<sup>-1</sup> comparados con 29.5 t C ha<sup>-1</sup> para las pasturas degradadas. El componente arbóreo de las pasturas de Matiguás, almaceno en promedio más carbono que las de Esparza (11.8 vs 7.5 t C ha<sup>-1</sup>); esto se debió a la mayor densidad de árboles en las pasturas de Matiguás. En la zona del Quindío,

Colombia, el carbono estable bajo sistemas silvopastoriles fue superior al encontrado bajo bosque riparios (7.8 vs 5.27 t C ha<sup>-1</sup>), diferencia que puede estar asociada con altas entradas de carbono recalcitrante en el sistema silvopastoril, lo cual es importante para los reservorios de carbono permanente (Chacón et al. 2006).

Dentro de las fincas ganaderas es importante una mejor planificación de los usos del suelo acordes a su potencial. Asimismo, es necesario considerar una mayor presencia del componente arbóreo dentro de los diversos usos del suelo, implementación de pasturas mejoradas en asocio con leguminosas herbáceas, mejoramiento de la genética y nutrición animal acorde al tipo de producción; y mejorar la eficiencia en el uso de insumos externos (fertilizantes químicos, pesticidas y combustibles fósiles), todo ello con el afán de maximizar la función de los sumideros de carbono en contraste a las fuentes emisoras y, consecuentemente la transformación de las fincas en sistemas de producción que presenten un balance positivo de los principales gases de efecto invernadero (GEI - dióxido de carbono, óxido nitroso y metano). En este sentido, algunos estudios demuestran las ventajas de los sistemas silvopastoriles en la mitigación de los GEI como Mora (2001) y Arias et al. (2001).

#### CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

En América Central, la transformación de los bosques natural a áreas para ganadería con manejo convencional (pasturas con baja densidad de árboles y alto uso de agroquímicos) ha ocasionado cambios en el tamaño y distribución de los remanentes de bosque, pérdida de la biodiversidad, contaminación del agua, entre otros (Harvey y Haber 1999, Harvey et al. 2005a). A nivel de conservación de la biodiversidad la presencia de elementos como parches de bosques, bosques riparios, cercas vivas y árboles dispersos en potreros en los paisajes ganaderos, pueden servir como hábitat, sitios de alimentación, percha, como corredores biológicos para especies de plantas y animales. Varios estudios han evaluado el papel de los árboles en los sistemas silvopastoriles para la conservación de especies de fauna y flora, mantenimiento de las poblaciones de especies y procesos ecológicos en los paisajes agropecuarios. La influencia va a depender de la estructura, composición, manejo y arreglo espacial que se encuentran en el paisaje agropecuario (Cuadro 4). Enríquez (2005), señala la relevancia de la diversidad vegetal en los habitats y la heterogeneidad del paisaje en términos de usos de la tierra sobre la abundancia y riqueza de aves en paisajes agropecuarios.

Harvey et al. (2005b) reportaron que en América central entre el 60 -95% de las fincas ganaderas tienen cercas vivas y entre el 23 y 90% tienen árboles dispersos en potreros, lo cual revela la importancia



**Cuadro 4.** Abundancia, riqueza e índice de diversidad de aves, mariposas, murciélagos y escarabajos en diferentes usos de la tierra.

Ecosistema / Uso de la tierra	Especie	Abundancia <sup>1</sup>	Riqueza <sup>2</sup>	Índice Shannon	Referencia
<b>Bosque seco tropical</b>	Aves				Cárdenas et al. 2003
Bosque secundario		70	20	1.17	
Pastura alta densidad		80	25	1.27	
Pastura baja densidad		62	17	1.11	
Cerca viva		70	21	1.22	
<b>Bosque húmedo tropical</b>	Aves				Lang et al. 2003
Cercas vivas con manejo		407	45	1.34	
Cercas vivas sin manejo		1141	81	1.49	
<b>Bosque subhúmedo tropical</b>	Aves				Enríquez 2005
Bosque secundario		26	13.4	2.42	
Pastura alta densidad		32	13.1	2.22	
Pastura baja densidad		22	10.3	2.06	
Cercas vivas		20	8.3	1.75	
<b>Bosque subhúmedo tropical</b>	Mariposas				Tobar et al. 2006
Bosque secundario		131.4	21	2.3	
Pastura alta densidad		132	14	1.88	
Pastura baja densidad		103.6	10	1.66	
Cerca viva con manejo		67.6	13	1.94	
Cerca viva sin manejo		88	17	2.18	
<b>Bosque seco tropical</b>	Murciélagos				Montero 2003
Bosque secundario		55		1.6	
Bosque secundario joven		60		1.5	
Pastura alta densidad		35		1.4	
Pastura baja densidad	25		1.0		
<b>Bosque seco tropical</b>	Escarabajos				Sabido 2001
Bosque secundario		95	6.5	1.39	
Potreros con árboles		250	7	1.05	
Potreros sin árboles		88	2.6	0.71	

<sup>1</sup> número promedio de individuos por hábitat; <sup>2</sup> número promedio de especies por hábitat

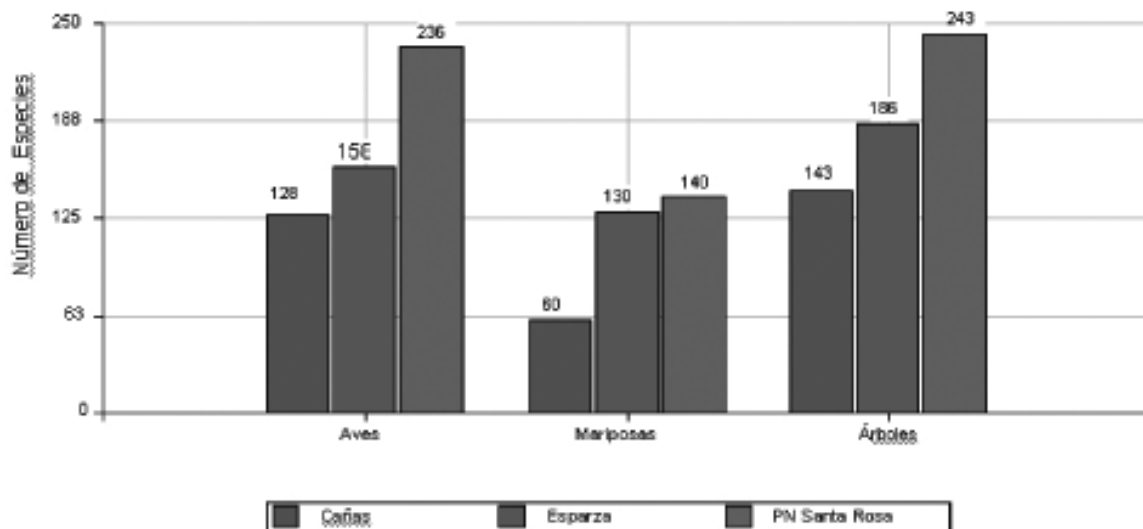
y conocimiento acumulado de estos sistemas en la dinámica productiva de las fincas.

Los resultados muestran la importancia de los paisajes agropecuarios en la conservación de la biodiversidad. En este sentido, estudios dirigidos dentro de los proyectos Fragment y GEF-Silvopastoril en bosque seco y subhúmedo tropical de Costa Rica, reportaron que estos paisajes dominados por la ganadería pueden mantener entre el 50 y 66% de las especies de

aves presentes en el Parque natural Santa Rosa, para mariposas entre el 40 al 90 % y árboles entre el 50 y 73% (Figura 1).

#### **BARRERAS PARA LA ADOPCIÓN DE SISTEMAS SILVOPASTORILES**

Un riesgo conocido en la adopción de sistemas silvopastoriles lo constituye la inversión. Los sistemas donde se establecen uno o más cultivos requieren el no uso de la pastura hasta el establecimiento de



**Figura 1.** Comparación de la riqueza de especies entre el Parque Natural Santa Rosa y las áreas de estudio de Cañas (proyecto Fragment) y Esparza (proyecto GEF- Silvopastoril), Grupo GAMMA - CATIE, Costa Rica.

ésta y de los árboles asociados, lo que ocasiona un sobrepastoreo en el resto de la finca sino se cuenta con alternativas alimenticias. Por otro lado, pueden existir factores socioeconómicos que interfieran con la implementación; al respecto Alonzo e Ibrahim (2001), en un estudio realizado en Cayo, Belice, a través de encuestas a productores se encontró que los sistemas silvopastoriles tuvieron mayores costos (45%) de mano de obra comparado con sistemas tradicionales ya que los bancos se manejan bajo un sistema de corte y acarreo. Camargo et al. (2000), encontraron que varios factores biofísicos (características edáficas) y socioeconómicos (prácticas de combate de malezas e historia de uso anterior a la pastura) afectaban la regeneración natural del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica.

En algunos trabajos se han identificado algunos factores que limitan la adopción de sistemas silvopastoriles: riesgo, falta de capital, incertidumbre en los mercados y la pobre genética de los animales (Alonzo e Ibrahim 2001). Por otro lado, ha sido demostrado que los productores no cambian rápidamente de un sistema tradicional familiar, más seguro y experimentado, a una nueva tecnología que pueda estar asociada con riesgos más altos que los métodos tradicionales (Aldy et al. 1998); esta reacción es debida principalmente a la falta de conocimiento de los nuevos sistemas.

Existen una serie de factores que a tomar en cuenta para aumentar el nivel de adopción de los sistemas silvopastoriles (Dagang y Nair, 2003): 1) los objetivos

del productor y el acceso a los recursos; 2) reducción de la mano de obra; 3) identificación y manejo de especies que ofrezcan múltiples productos (conocimiento local); 4) uso de cultivos acompañantes durante el establecimiento de árboles; 5) selección de sistemas silvopastoriles dependiendo del grado de degradación de pasturas; 6) adicionalmente a lo anterior es importante que el productor asuma que el problema principal no es la baja productividad de los pastizales si no la consecuencia de un manejo ineficiente de los recursos.

#### INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PARA SU ADOPCIÓN

Uno de los problemas ha sido que los sistemas de producción amigables con el medio ambiente, los productores no consideran los servicios ambientales que generan en sus decisiones de producción (Dagang y Nair 2003). Por ello, se debe incentivar usos de la tierra en los agricultores que protejan los recursos naturales y provean un servicio a la comunidad local, nacional y mundial, y a su vez puedan mejorar la viabilidad financiera de las fincas (Beer et al. 2003).

Por ello, los mecanismos a desarrollar deben compensar esta inequidad en los beneficios y que puedan contribuir al mejoramiento de los medios de vida de las poblaciones de menores ingresos. Para agravar el problema en muchas áreas donde se presentan importantes servicios ambientales están habitadas por personas pobres donde los derechos de propiedad sobre la tierra no son claros y además las instituciones presentes son débiles (Sayer 2005). Por ello las regulaciones y los incentivos económicos deben ser usados para alcanzar un balance



óptimo entre los beneficios públicos (sociedad) y los privados (productores).

En el pasado las estrategias de conservación estaban basadas en mecanismos regulatorios los cuales buscaban restringir el uso de la tierra en ciertas áreas en particular. Dentro de este enfoque se encuentran el establecimiento de áreas protegidas y la restricción a través de leyes que prohíban el cultivo en zonas de ladera o el uso de pesticidas en zonas de bosques riparios. Pero esta estrategia ha excluido a la población que vive de estos recursos, provocando problemas sociales y mayor pobreza debido a la generación de problemas de tenencia de tierra, exclusión de los pobres y la reducción en las estrategias de vida (caza, pesca y otras formas de subsistencia).

Pero recientemente se ha generalizado la utilización de mecanismos basados en el mercado como un medio para unir la protección de los recursos (conservación) y producción de manera sostenible. Estos mecanismos buscan cambiar el comportamiento del usuario de la tierra para que adopte usos de la tierra más benignos con el ambiente y desincentivar el uso de aquellas de alto impacto ambiental. Este enfoque busca generar productos y servicios provenientes de usos de la tierra amigables con el ambiente tales como el café bajo sombra, ganadería orgánica, entre otros. Dentro de los mecanismos basados en el mercado se encuentra los pagos por servicios ambientales (PSA) que resalta el valor de los ecosistemas como fuente generadora de bienes y servicios. Aunque, podrían practicarse otros como créditos verdes, mercado justos y exoneración de impuestos sobre la tierra.

#### **EXPERIENCIA DEL PROYECTO ENFOQUES SILVOPASTORILES INTEGRADOS PARA EL MANEJO DE ECOSISTEMAS EN COSTA RICA Y NICARAGUA SOBRE EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES EN PAISAJES GANADEROS**

A pesar de los numerosos beneficios antes expuestos para los sistemas silvopastoriles, estos sistemas presentan bajas tasas de adopción (Dagang y Nair 2003), porque no siempre las prácticas amigables con el ambiente son las más rentables desde la perspectiva del usuario de la tierra (Gobbi e Ibrahim 2004). Por ello se desarrolló el proyecto "Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas" cuyo objetivo es evaluar el impacto del PSA sobre la adopción de sistemas silvopastoriles y otros usos de la tierra amigables con el ambiente en fincas ganaderas y que esto se traduzca en el mejoramiento de las condiciones sociales y económicas locales y en la generación de servicios ambientales globales. El proyecto se está llevando a cabo en tres países: Costa Rica, Nicaragua y Colombia. En el presente documento se muestran algunos resultados preliminares de las zonas piloto de Esparza, Costa Rica y Matiguas, Nicaragua.

Al introducir los sistemas silvopastoriles y otros sistemas de conservación, los ganaderos generan servicios ambientales globales (biodiversidad y carbono), por lo cuáles el proyecto realiza pagos por un periodo de cuatro años (Gobbi e Ibrahim 2004). La lógica del PSA es la de compensar a los usuarios de la tierra por los servicios ambientales que un sistema de uso de la tierra provee, aumentando la probabilidad de elegir este sobre otro que genere menores servicios o que posea efectos detrimentales al ambiente (Pagiola et al. 2004). Existen 28 formas de uso de la tierra en los tres países que varían desde pasturas degradadas hasta bosque primario. Todas las áreas bajo diferentes usos de la tierra, son multiplicadas por un índice establecido con anterioridad que fluctúa entre 0 (pasturas degradadas) y 2 puntos (Bosque primario); esto según su capacidad de secuestrar carbono y conservar la biodiversidad y se obtiene la totalidad de puntos por finca a pagar.

En Costa Rica y Nicaragua fueron seleccionados 124 y 131 fincas ganaderas, que comprendieron las áreas totales de 4471 y 4421 ha respectivamente. Los criterios para seleccionar esas fincas fueron: que las fincas ganaderas estuvieran activas, la ganadería como fuente principal de ingresos, y como mínimo 5 años de experiencia en el manejo del ganado. Una vez seleccionados los finqueros fueron ubicados al azar en tres grupos. En el primer grupo fue para productores con PSA y asistencia técnica (69 en Costa Rica y 75 en Nicaragua); el segundo fue para productores con PSA solamente (27 en Costa Rica y 29 en Nicaragua); y el tercero fue para productores sin PSA ni asistencia técnica (grupo control; 28 para Costa Rica y 27 para Nicaragua). En cada uno de los grupos con PSA, la mitad de los productores fueron asignados al azar a dos diferentes esquemas de pago. El esquema de pago número 1 consistió en pagar por 4 años los puntos incrementales que obtenga la finca respecto a la línea base a un precio de 75 dólares por punto, mientras que el esquema de pago 2 fue para pagar por 2 años a 110 dólares por punto incremental respecto a la línea base. En la línea base se cuantificó los puntos ecológicos por finca y se pago a 10 dólares cada punto a todas las fincas participantes, excepto el grupo control.

#### **CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA**

En la línea base (2003), los usos de la tierra principales en Costa Rica fueron los bosques y las pasturas naturales con árboles; mientras en Nicaragua fueron las pasturas degradadas, los bosques y las pasturas naturales con árboles. Después de tres años de PSA, se observó una disminución en el porcentaje de área total bajo pasturas degradadas en Costa Rica del 13% y en Nicaragua del 20.5%, y en el porcentaje de pasturas sin árboles en Costa Rica del 9.5%. Por otro lado se observó un incremento en el porcentaje de área de pasturas mejoradas con árboles en Costa

**Cuadro 5.** Cambio de uso de la tierra en fincas ganaderas del proyecto GEF Silvopastoril que recibieron PSA durante el periodo 2003-2006 en Esparza, Costa Rica y Matiguás, Nicaragua. (Área afecta fue de 3124.5 ha para Costa Rica y 3173.4 ha para Nicaragua).

País/ usos de la tierra	2003		2006		Diferencia (2006 - 2003)	
	ha	%	ha	%	Ha	%
<b>Costa Rica</b>						
Pastura degradada	558.7	17.9	153.3	4.9	-405.4	-13.0
Pastura natural sin árboles	253.6	8.1	3.7	0.1	-249.9	-8.0
Pastura mejorada sin árboles	62.1	2.0	16.2	0.5	-45.9	-1.5
Pastura natural con árboles	910.6	29.1	438.3	14.0	-472.3	-15.1
Pastura mejorada con árboles	246.5	7.9	1384.6	44.3	1138.1	36.4
Bancos forrajeros	13.3	0.4	17.2	0.6	3.9	0.2
Bosques	927.4	29.7	954.6	30.6	27.2	0.9
Otros	152.3	4.9	156.5	5.0	4.2	0.1
<b>Nicaragua</b>						
Pastura degradada	874.8	27.6	224.5	7.1	-650.3	-20.5
Pastura natural sin árboles	65.0	2.0	61.2	1.9	-3.8	-0.1
Pastura mejorada sin árboles	21.9	0.7	27.9	0.9	6.0	0.2
Pastura natural con árboles	724.4	22.8	854.7	26.9	130.3	4.1
Pastura mejorada con árboles	314.1	9.9	792.3	25.0	478.2	15.1
Bancos forrajeros	88.4	2.8	243.6	7.7	155.2	4.9
Bosques	784.0	24.7	820.3	25.8	36.3	1.1
Otros	300.8	9.5	148.9	4.7	-151.9	-4.8

**Bosques:** Incluyen bosques secundarios, primarios, riparios y tacotales. Bancos forrajeros: Incluyen los bancos forrajeros de gramíneas para corte, bancos forrajeros de leñosas para corte, bancos forrajeros diversificados para corte y sistemas silvopastoriles intensivos. Otros: Incluyen cultivos de ciclo corto, cultivos semiperennes, cultivo homogéneo de frutales, policultivos de frutales, plantaciones maderables en monocultivo, plantaciones maderables diversificadas.

Rica del 36.4% y en Nicaragua del 15.1%. En ambos sitios se observaron ínfimos incrementos en los porcentajes de áreas con bosques y en el caso de Nicaragua se registró un incremento en el porcentaje de área de bancos forrajeros de 4.9 (Cuadro 5). Los cambios de pasturas degradadas y naturales a mejoradas y la inclusión de bancos forrajeros representan ventajas para el productor debido a que estos cambios permiten incrementar la productividad animal (carne y/o leche) y la competitividad. Las cercas vivas tuvieron un crecimiento del 63 y 142% para cada país respectivamente. El cambio incluyó pasar de cercas vivas simples (con predominio de una o dos especies) a cercas vivas diversificadas (mas de dos especies), lo cual contribuye a potencializar los bienes y servicios de las cercas vivas en términos de productividad y conservación de la biodiversidad (Casasola et al. 2006).

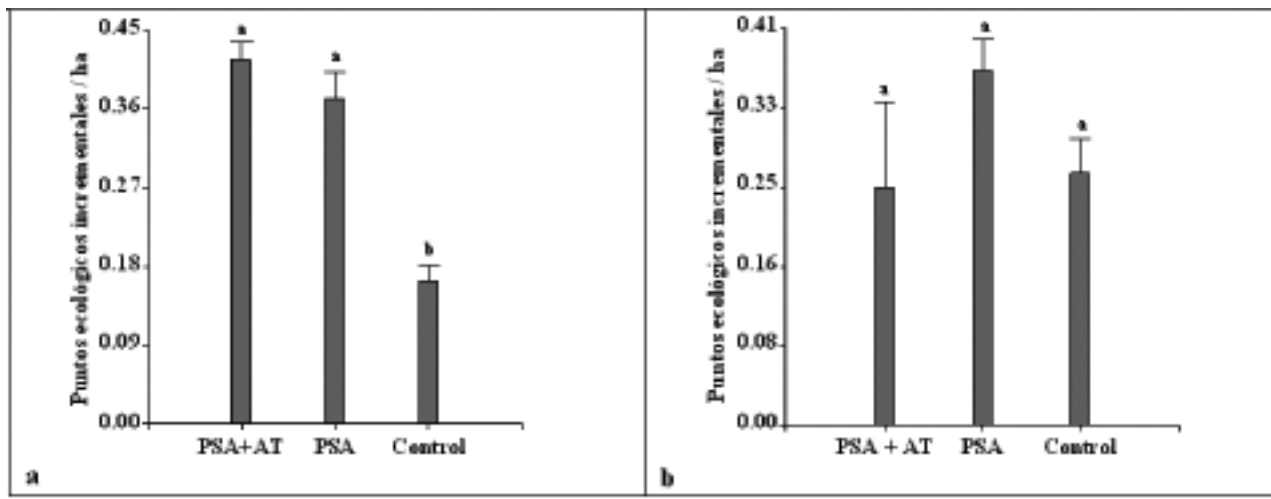
#### ÍNDICE ECOLÓGICO

En Costa Rica, e índice ecológico fue mayor en los grupos de fincas con PSA que el grupo control. Mientras, en Nicaragua no se encontró efecto del PSA en los grupos afectados, excepto el de solamente PSA. Con respecto

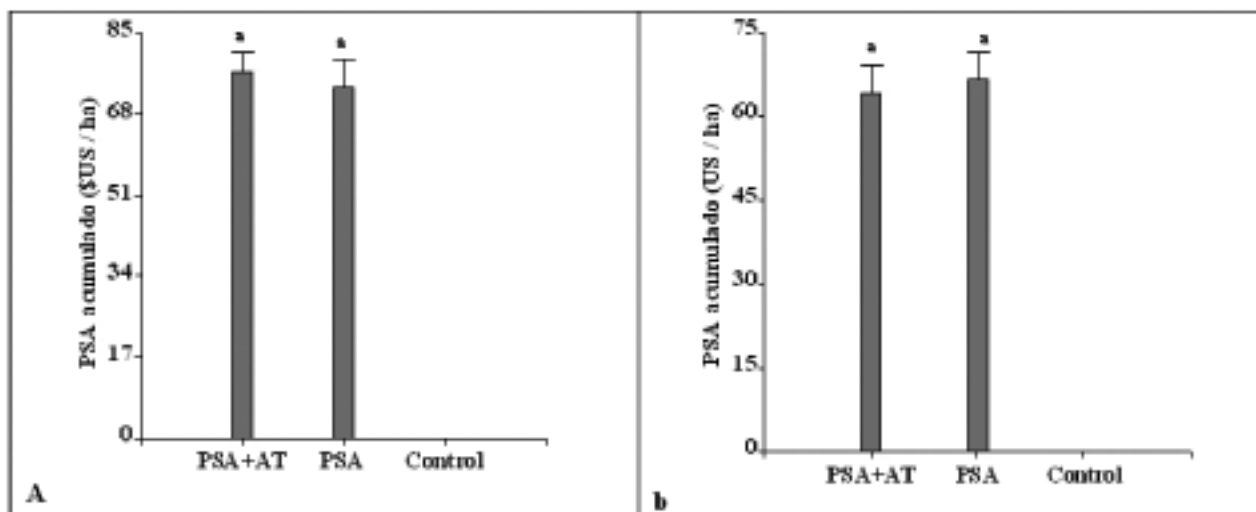
a la asistencia técnica, en Costa Rica se notó un mayor efecto en comparación a los grupos de fincas que no lo recibieron. En Nicaragua, este servicio no tuvo el efecto esperado (Figura 2). En ambos países, la baja respuesta de la asistencia técnica se podría atribuir a que las fincas están localizadas en un paisaje pequeño, donde existe intercambio de información entre productores por parentesco, amistad, asociaciones, etc., que no permiten aislar el efecto de la asistencia técnica. Sin embargo, un análisis de la calidad de los cambios podría ser útil para marcar la diferencia de la asistencia técnica. Por otro lado, el PSA esta actuando como un incentivo que le permite a los productores que lo reciben realizar cambios en los usos de la tierra a una mayor velocidad respecto a productores que no reciben este incentivo, especialmente en Costa Rica.

#### PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES RECIBIDO POR LAS FINCAS

En Costa Rica, las fincas en promedio han recibido un PSA acumulado entre \$US 2000 y 2042 para los grupos PSA+AT y PSA respectivamente. En el caso de Nicaragua, este monto fue de \$US 1866 y 1884 para cada grupo respectivamente. En ambos países



**Figura 2.** Puntos ecológicos incrementales en los diferentes grupos de fincas. a) Esparza, Costa Rica; b) Matiguás, Nicaragua. PSA + AT: fincas con pago de servicios ambientales y asistencia técnica; PSA: fincas solamente con pago de servicios ambientales; y Control: fincas que no reciben pago y asistencia técnica. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencia significativa según prueba de Duncan ( $p < 0.05$ ).



**Figura 3.** Pago por servicios ambientales acumulado (PSA; 2003 a 2006) en los diferentes grupos de fincas. a) Esparza, Costa Rica; b) Matiguás, Nicaragua. PSA + AT: fincas con pago de servicios ambientales y asistencia técnica; PSA: fincas solamente con pago de servicios ambientales; y Control: fincas que no reciben pago y asistencia técnica. Letras similares sobre las columnas indican no diferencia significativa según prueba de Duncan ( $p > 0.05$ ).

el PSA acumulado ha<sup>-1</sup> fue similar; en Costa Rica fue de \$US 77 y 74 hectárea<sup>-1</sup> y en Nicaragua de \$US 64 y 67 hectárea<sup>-1</sup> para los grupos PSA+AT y PSA respectivamente (Figura 3). Este comportamiento refleja que las fincas están realizando esfuerzos y ruta de cambios de uso de la tierra similares, para asegurar el máximo ingreso por la venta de servicios ambientales.

## CONCLUSIONES

Los sistemas silvopastoriles constituyen una opción en los sistemas de explotación de rumiantes capaz de mejorar la productividad de las fincas. Estos diversifican los productos (leche, carne, madera, postes y leña), brindan sombra, mejoran la dieta de los animales, reducen la utilización de fertilizantes químicos y de concentrados. Lo cual se traduce, en una menor utilización de insumos externos a la finca. Además, permiten la generación de servicios ambientales como secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad, protección de cuencas hidrográficas y belleza escénica.

Los sistemas silvopastoriles mejorados como bancos de proteína en todas sus modalidades han presentado un nivel bajo de adopción. En Centroamérica y otros países se han identificado barreras que dificultan su adopción como alto costo de establecimiento, falta de abundantes modelos exitosos en fincas para reducir el temor a una nueva tecnología, bajo conocimiento de la tecnología por parte de los productores y falta de políticas de los gobiernos locales que estimulen sistemas de producción sostenibles en fincas ganaderas. En este sentido, han surgido estrategias para estimular la adopción de sistemas silvopastoriles y otros usos de la tierra para conservación en fincas ganaderas tales como el pago de servicios ambientales, créditos verdes, mercados justos y mercados de productos ecoamigables. Sin embargo, los años venideros serán claves para conocer el impacto de estas estrategias sobre la adopción, masificación y persistencia de estas tecnologías de producción sostenible.

Los datos del Proyecto GEF - Silvopastoril muestran que mediante la estrategia de pago de servicios ambientales se incrementa la adopción de usos de la tierra que mejoran la productividad animal y la generación de servicios ambientales en fincas ganaderas. No obstante, es imperante la realización de estudios y/o monitoreos posteriores al proyecto para conocer la dinámica de cambio, permanencia y calidad de los cambios de usos de la tierra en fincas para identificar factores que limitan el éxito de tecnologías ecoamigables.

## REFERENCIAS

- Alavalapati, JRR; Shrestha, RK; Stainback, GA; Matta, JR. 2004. Agroforestry development: An environmental economic perspective. *Agroforestry Systems* 61:299-310.
- Aldy, JE.; Hrubovcak, J; Vasavada, U. 1998. The role of technology in sustaining agriculture and the environment. *Ecological Economics* 26:81- 96.
- Alonzo, Y; Ibrahim, M. 2001. Potential of silvopastoral systems for economic dairy production in cayo, belize and constraints for their adoption. In Ibrahim, M. ed. *International Symposium on Silvopastoral systems and Second congress on Agroforestry and Livestock Production in Latin America*. (2001, San Jose, CR). Memoria. CATIE. p. 465-470.
- Andrade, H. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 70 p.
- Arias, SK; Ruiz, C; Milla, M; Messa, HF; Escobar, A. 2001. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela. (En línea). Cali. CO. Consultado el 12 de Abril del 2003. Formato HTML. Disponible en <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/5/ruiz135.htm>
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 80-87.
- Betancourt, H; Pezo, D; Cruz, J; Beer, J. 2006. Impacto bioeconómico de la degradación de pasturas en fincas de doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. In IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible y III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible (Cuba). Memoria. p. 140.
- Betancourt, K; Ibrahim, M; Harvey, C; Vargas, B. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Revista Agroforestería en las Américas* 10(39-40):47-51.
- Bolívar, D; Ibrahim, M; Kass, D; Jiménez, F; Camargo, JC. 1999. Productividad y calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* en monocultivo y en asocio con *Acacia mangium* en un suelo ácido en el trópico Húmedo. *Agroforestería en las Américas* 6 (23):48-50.
- Botero, J; Ibrahim, M; Bouman, B; Andrade, H; Camargo, JC. 1999. Modelaje de opciones silvopastoriles

- sostenibles para el sistema ganadero doble propósito en el trópico húmedo. *Agroforestería en las Américas* 6(23):60-62.
- Burle, STM; Shelton, HM; Dalzell, SA. 2003. Nitrogen cycling in degraded *Leucaena leucocephala*-*Brachiaria decumbens* pastures on an acid infertile soil in south-east Queensland, Australia. *Tropical Grasslands* 37: 119-128.
- Bustamante J., M. Ibrahim and J. Beer, 1998. Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril con poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Turrialba. *Agroforestería en las Américas* 5(19): 11-16.
- Cajas-Girón, YR; Sinclair, F. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry astures 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 del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y sub-húmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 7(26): 46-52.
- Camero, A; Ibrahim, M; Kass, M. 2001. Improving rumen fermentation and milk production with legume-tree fodder in the tropics. *Agroforestry Systems* 51: 157-166.
- Cárdenas, G; Harvey, C; Ibrahim, M; Finegan, B. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes habitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):78-85.
- Casanovas, E; Carranza, A; Caballero, C; Novoa, R; Valera, R. 2004. Efecto de la inclusión de morera (*Morus alba*) en la producción de leche. *Pastos y Forrajes* 27(2):147-163.
- Casasola, F; Ibrahim, M; Ramirez, E; Villanueva, C. 2006. Influencia del Pago de servicios ambientales en los cambios de uso de la tierra en fincas ganaderas: la experiencia del proyecto GEF-Silvopastoril en Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* (En prensa).
- Casasola, F; Ibrahim, M; Harvey, C; Kleinn, C. 2001. Caracterización y productividad de sistemas silvopastoriles tradicionales en Moropotente, Estelí, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(30):17-20.
- Chacón, M; Ibrahim, M; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F. 2006. Determinación de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Centroamérica. In IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible y III Simposio sobre Sistemas Silvopastoriles para la Producción Ganadera Sostenible Cuba. Memoria. p. 106.
- Chará J., Baird, D. and Telfer T. 2004. Effects of land use on biotic and abiotic aspects of low-order streams of the Colombian Andes. *Bulletin of the North American Benthological Society* 21 (1).
- Dagang, ABK; Nair, PKR. 2003. Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems* 59:149-155.
- Enriquez, ML. 2005. Riqueza, abundancia y diversidad de aves y su relación con la cobertura arbórea en un agropaisaje de Esparza, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Heredia, CR. UNA. 52 p.
- Gobbi, J; Ibrahim, M. 2004. Creating win-win situations: the strategy of paying for environmental services to promote adoption of silvopastoral systems. In Mannetje, L t ; Ramírez, L; Ibrahim, M; Sandoval, C; Ojeda, N; Ku, J. eds. The importance of silvopastoral system in rural livelihoods to provide ecosystem services. Proceedings of the second international symposium on silvopastoral systems. Mérida, Mex, Universidad Autónoma de Yucatan. p 98-101.
- González, J; Benavides, J; Kass, M; Olivo, R; Esperance, M. 1996. Evaluación de la calidad nutricional de la morera (*Morus alba* L) fresca y ensilada, con bovinos de engorda. *Agroforestería en las Américas* 3(11-12): 20-23.
- González, J; Lobo di Palma, MV; Acuña, V; Argel, PJ; Hidalgo, C; Romero, F. 2001. Utilisation of the shrub *Cratylia argentea* CV. Veraniega as protein supplement for milking cows during the dry season in Costa Rica. In Ibrahim, M Comp. International symposium on silvopastoral systems: second congress on agroforestry and livestock production in latin America. p 403-407.
- Harvey, C.A; Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems*, 44: 37-68.
- Harvey C.A; Alpizar F; Chacón, M; Madrigal, R. 2005a. Assessing linkages between Agriculture and Biodiversity in Central America: Historical overview and Future perspectives. Mesoamerican and Caribbean Region, Conservation Science Program. The Nature Conservancy (TNC), San Jose, Costa Rica. 140 pp.
- Harvey, CA; Villanueva, C; Villacís, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Taylor, R; Martínez,

- JL; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vílchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Kunth, S; Sinclair, FL. 2005b. Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes in Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111:200-230.
- Hernandez, I; Simon, L; Duquesne, P. 2001. Evaluación de las arbóreas *Albizia lebbek*, *Bauhinia purpurea* y *Leucaena leucocephala* en asociación con pasto bajo condiciones de pastoreo. *Pastos y Forrajes* 24: 241-264.
- 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.
- Holmann, F; Estrada, RD. 1997. Alternativas agropecuarias en la Región Pacífico Central de Costa Rica: un sistema de simulación aplicable a sistemas doble propósito. In Lascano, CE; Holmann, F. Eds. *Conceptos y metodologías de Investigación en Fincas con Sistema de Producción Animal de Doble Propósito*. Cali, Colombia. P 134-152.
- Ibrahim, M; Holmann, F; Hernandez, M; Camero, A. 2000. Contribution of *Erythrina* protein banks and rejected bananas for improving cattle production in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 49: 245-254.
- Ibrahim, MA; Franco, M; Pezo, D; Camero, A; Araya, JL. 2001. Promoting intake of *Cratylia argentea* as a dry season supplement for cattle grazing *Hyparrhenia ruffa* in the subhumid tropics of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 51: 167-175.
- Ibrahim, M; Harvey, C. 2003. Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ambientales. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):4-5.
- Jackson, J; Ash, A. 1998. Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of northern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. *Agroforestry Systems* 40: 159 -176.
- Kaimowitz, D. 2001. Will livestock intensification help save Latin America's Tropical Forest? In: Angelsen; Kaimowitz, D. eds. *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*. Wallingford, UK, CABI. p 1-20.
- Lang, I; Gormley, LHL; Harvey, C; Sinclair, F. 2004. Composición de la comunidad de aves y el uso de las cercas vivas en Río Frío, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):86-92.
- López, A; Schlönvoight, 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.
- Mahecha, L; Rosales, M; Duran, CV; Molina, CH; Molina, EJ; Uribe, F. 2002. Evaluación del Forraje y los Animales a Través del Año, en un Silvopastoril Conformado por *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*, en el Valle del Cauca, Colombia. Consultado 1 set 2006. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/SeminInd.htm>
- Montero, JL. 2003. Influencia de las variables espaciales y del hábitat sobre una comunidad de murciélagos (Chiroptera) en remanentes boscosos en Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. UNA. Heredia, CR. 86 p.
- Mora, V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 106 p.
- Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, C; Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas. ed 1. Cali, Colombia. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. 97 p.
- Neil, C; Melillo, JM; Seudler, PA; Cerril, CC. 1997. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecological Applications* 7: 1216-1225.
- Nepstad D; de Carvalho C.; Davidson E; Jipp, P; Lefebvre P; Negreiros G; da Silva E; Stone, T.; Trumbore S.; Vieira S. 1994. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372:666-669.
- Nyberg G. and P. Hogberg, 1995. Effects of young agroforestry trees on soils in on-farm situations in western Kenya. *Agroforestry Systems* 32: 45-52.
- Pagiola, S; Agostini, P; Gobbi, J; De Haan, C; Ibrahim, M; Murgueitio, E; Ramirez, E; Rosales, M; Ruiz, JP. 2004. Pago por servicios de Conservación de la Biodiversidad en Paisajes agropecuarios. Washington, US, World Bank. 40p (Environmental Economic Series, paper no 96).
- Restrepo, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Harmand, M; Morales, J. 2004. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en trópico seco en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* no. 41-42:29-36.



- Ríos, J; Ibrahim, M; Jiménez, F; Andrade, H; Sancho, F. 2006. Estimación de la escorrentía superficial e infiltración en sistemas de ganadería convencional y en sistemas silvopastoriles en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del Río Jabonal, Barranca, Costa Rica. In IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible y III Simposio sobre sistemas silvopastorile para la producción ganadera sostenible (Cuba). Memoria. p. 120.
- Roa, ML; Muñoz, HR; Galeano, JR; Céspedes, DA. 2000. Suplementación alimenticia de vacas doble propósito con Morera *Morus alba*, Nacedero *Trichanthera gigantea* y pasto king Grass *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides* en el piedemonte llanero, Colombia. *Agroforestería en las Américas* 7(28): 8-11.
- Ruiz, F; Gómez, R; Harvey, C. 2005. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de Matiguás, Nicaragua. TROPITECNICA - NITLAPAN. 40 p.
- Sabido, W. 2001. Birds, dung beetles and trees in a fragmented landscape of Cañas, Guanacaste: Relationship between tree cover and biodiversity. Mag. Sc. Thesis. CATIE. Turrialba, CR. 105 p.
- Sayer, J. 2005. Ecosystem Services of Tropical Landscapes. In Integrated Management of Environmental Services in Human-Dominated Tropical Landscapes. Turrialba, CR, CATIE p 49-53.
- 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. PhD. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. p. irr.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Serie Técnica. Informe técnico/CATIE; no. 313. CATIE, Costa Rica. 71 p.
- Tarre, R; Macedo R.; Cantarutti R; de P. Rezende C.; Pereira J; Ferreira, E; Alves B; Urquiaga, S ; Boddey R. 2001. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Plant and Soil* 234: 15-26.
- Tobar, D; Ibrahim, M; Casasola, F. 2006. Diversidad de mariposas en un paisaje agropecuario del pacífico central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* (En prensa).
- Veldkamp, D. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after Deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 175-180.
- Villacís J. 2003. Relaciones entre la cobertura arborea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Rio Frio, Costa Rica. MSc thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 129 p.
- 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 Mannetje, 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. p. 183-188.
- Zamora, S; García, J; Bonilla, G; Aguilar, H; Harvey, C; Ibrahim, M. 2001. Uso de frutos y follaje arbóreo en la alimentación de vacunos. *Agroforestería en las Américas* 8(31): 31-38.