

Agroforestería en las Américas

Nº 50 2013

www.catie.ac.cr/revistas/



La diversidad de rasgos de árboles para el diseño de fincas silvopastoriles multi-funcionales y resilientes

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

Comité Editorial Operativo

John Beer

Director de la División de Investigación y Desarrollo, CATIE

Eduardo Somarriba Chavez

Líder del Programa Agroforestería y Agricultura Sostenible, CATIE

Muhammad Ibrahim

Representante del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA – Belice)

Guillermo Detlefsen

Programas Gamma y Bosques, CATIE

Correspondencia

Agroforestería en las Américas
CATIE 7170
Cartago, Turrialba 30501
Costa Rica
Tel.: (506)2558-2408
Fax: (506)2558-2045
Correo electrónico: agrofor@catie.ac.cr
Internet://www.catie.ac.cr/revistas/

Agroforestería en las Américas no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en sus páginas. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución.

Se autoriza la reproducción parcial o total de la información contenida en esta revista siempre y cuando se cite la fuente.

La presente publicación es parte de los proyectos FUNCiTREE “Un marco ecológico para sistemas agroforestales sostenibles y adaptables a los paisajes de ecoregiones semiáridas y áridas” y SILPAS “Los árboles como motores del funcionamiento de los sistemas silvopastoriles en el Neotrópico”. Ambos han estado a cargo de dos consorcios internacionales con la participación de equipos multidisciplinares pertenecientes a organizaciones regionales de Centroamérica y de Noruega, los Países Bajos, España, Francia, Senegal y Mali. FUNCiTREE ha sido cofinanciado por la Comunidad Europea y SILPAS por el Consejo de Investigaciones de Noruega (RCN).

Los autores son los únicos responsables por el material reportado en este trabajo. Esta publicación no representa la opinión de la Comunidad Europea y del Consejo de Investigaciones de Noruega. Mayor información: <http://funcitree.nina.no/>

Créditos

Dirección técnica: Eduardo Somarriba Chavez

Revisores técnicos: Amilcar Aguilar; Ingrid, Ayub; Tamara Benjamín; Francisco Casasola; Jimena Esquivel; Natalia Estrada Carmona; Martin Jimenez; Álvaro González; Marlon López; Sonia Ospina; Nadir Reyes; Ney Ríos; Lester Rocha; Joel Rojas; Diego Tobar

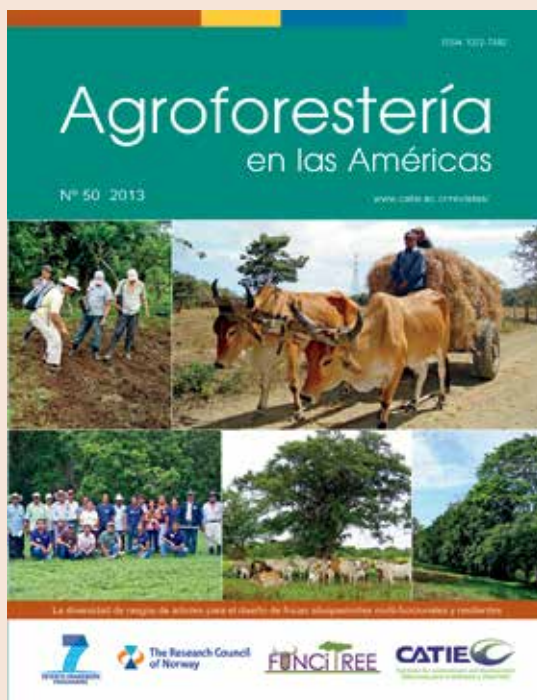
Revisores técnicos invitados: Dalia Sánchez, Graciela M. Rusch, Cristóbal Villanueva

Corrección de estilo: Elizabeth Mora Lobo

Coordinación: Lorena Orozco Vílchez

Fotos de la portada: Alejandra Martínez, Juliana Miranda, Iván Ramírez, Dalia Sánchez, Francisco García

Diagramación: Rocío Jiménez, Oficina de Comunicación e Incidencia, CATIE



Índice

Editorial

Incorporando y manejando la diversidad en el sistema de producción ganadera en Nicaragua
Graciela M. Rusch..... 4

Avances de Investigación

Ecología histórica de la ganadería y usos de la tierra asociados en Muy Muy y Belén, Nicaragua
Daniel O'Toole, Mariel Aguilar-Støen..... 7

Composición florística de pastizales en Muy Muy y Rivas, Nicaragua
Julio Morales, Graciela M. Rusch, Fernando Casanoves, Lars Söderström, Lester Rocha..... 16

Influencia de los árboles en la vegetación herbácea de sistemas ganaderos del trópico seco de Nicaragua
Piedad Zapata, Graciela Rusch, Muhammad Ibrahim, Fabrice DeClerk, Fernando Casanoves, John Beer..... 30

Diversidad forrajera tropical. 1. Selección y uso de leñosas forrajeras en sistemas de alimentación ganadera para zonas secas de Nicaragua
Nelson Pérez Almario; Muhammad Ibrahim; Cristóbal Villanueva; Cristina Skarpe; Hubert Guerin..... 37

Diversidad forrajera tropical. 2. Rasgos funcionales que determinan la calidad nutricional y preferencia de leñosas forrajeras para su inclusión en sistemas de alimentación ganadera en zonas secas
Nelson Pérez Almario; Muhammad Ibrahim; Cristóbal Villanueva; Cristina Skarpe, Hubert Guerin..... 44

Estrategias de los árboles para el uso eficiente del agua y tolerancia a la sequía en sistemas silvopastoriles
Pilar Bucheli; Tamara Benjamin, Graciela M. Rusch; Muhammad Ibrahim, Pere Casals; Dalia Sánchez, Francisco Pugnaire..... 53

Disponibilidad de biomasa y capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Nicaragua
Darwin Lombo, Muhammad Ibrahim, Cristóbal Villanueva, Tamara Benjamin, Christina Skarpe..... 62

Efectos de los rasgos morfológicos y ecofisiológicos de árboles neotropicales en la transferencia de agua y nutrientes al suelo
Juliana Miranda Gómez; Graciela M. Rusch; Pere Casals; Fabrice Declerck; Muhammad Ibrahim; Fernando Casanoves; Francisco Jiménez..... 69

Estrés calórico en ganado de doble propósito bajo pastoreo, en función del nivel de cobertura arbórea en potreros
Francisco García; Danilo Pezo; Fernando Casanoves; Muhammad Ibrahim; Cristina Skarpe..... 76

Modelo experto participativo para la selección de árboles multifuncionales en potreros por medio de redes bayesianas
Álvaro Salazar, David N. Barton, Cristóbal Villanueva, Carlos Cerdán, Tamara Benjamin..... 85

Percepción y adaptación al cambio climático en sistemas ganaderos de Río Blanco y Paiwas, Nicaragua
Carlos Chuncho, Claudia Sepúlveda, Muhammad Ibrahim, Adriana Chacón, Tamara Benjamin, Diego Tobar..... 94

Cumplimiento de la norma para ganadería sostenible en diferentes tipos de fincas en los municipios de Paiwas y Río Blanco, Nicaragua
Diana Ochoa, Claudia Sepúlveda, Muhammad Ibrahim, Adriana Chacón, Gabriela Soto..... 102

Crecimiento y potencial de secuestro y fijación de carbono de seis especies forestales con el sistema agroforestal taungya en Rivas, Nicaragua..... 109
Ronaldo Martín Jiménez Gómez; Álvaro José González Martínez; D. Amílcar Jarquín Palacios; Héctor J. Pérez Cid; Joel Rojas Hernández; Maritza A. Bustos López; Francisco J. Chavarría-Namendil..... 109

Pago por servicios ambientales en el contexto de descentralización institucional de Nicaragua: el caso del PSA-H de la cuenca del río Gil González
Mariel Aguilar-Støen..... 114

¿Cómo hacerlo?

¿Cómo incrementar la multifuncionalidad en potreros?
Dalia Sánchez, Graciela M. Rusch, Cristóbal Villanueva, David Barton, Álvaro Salazar..... 122

Agroforestería en las
Américas
Nº 50, 2013

Agroforestería en las Américas



Los rebrotes de los árboles como estrategia de alimentación en la época seca en la zona de Belén, Rivas (p. 62). Foto: Darwin Lombo



El genízaro (*Albizia saman*) una especie multifuncional en potreros de fincas ganaderas en Belén, Rivas (p. 69). Foto: FUNCiTREE



Metodología para la colecta de datos sobre composición botánica de especies herbáceas (p. 53). Foto: Pilar Bucheli

Incorporando y manejando la diversidad en el sistema de producción ganadera en Nicaragua

Graciela M. Rusch¹

En este número de la revista *Agroforestería en las Américas* se ofrece una serie de artículos que comunican resultados de estudios hechos por tres proyectos interrelacionados: FunciTree “Un marco ecológico para sistemas agroforestales sostenibles y adaptables en ecorregiones subhúmedas y áridas”, Silpas “Los árboles como motores del funcionamiento de los sistemas silvopastoriles en el neotrópico” y MF-Landscapes “Paisajes multifuncionales: un caso de estudio en Nicaragua”. En los artículos ofrecidos se abordan varios aspectos del rol de la cobertura arbórea en sistemas silvopastoriles de las zonas ganaderas de Rivas y Muy Muy, Nicaragua. Los estudios estuvieron a cargo de tres consorcios internacionales con la participación de equipos multidisciplinarios pertenecientes a ocho instituciones regionales y nacionales de Centroamérica, África Occidental y Europa. El amplio espectro de los temas tratados refleja la diversidad de disciplinas en los equipos, los cuales incluyeron científicos en ciencias sociales, agroforestería, ecología, edafología, ecofisiología, zootecnia y nutrición animal. Esta diversidad de enfoques ha sido necesaria para estudiar el sistema silvopastoril como un sistema socioecológico integrado.

Anteriormente a los proyectos mencionados hubo otros que lograron avances importantes en el conocimiento sobre los sistemas silvopastoriles en Nicaragua y en otras zonas de América Central. Ellos fueron, el proyecto BNPP (Impacto de las prácticas mejoradas de producción ganadera en la conservación de la biodiversidad de América Central), de cuyos resultados se informó en la RAFA No. 48 del 2011; PACA (Mejoramiento del valor forrajero de pasturas degradadas en América Central), resultados aparecidos en la RAFA No. 47 del 2009; GEF

(Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas), en la RAFA No. 45 del 2007 y Fragment (Desarrollo de modelos y métodos para la evaluación del impacto de los árboles en la productividad de fincas y biodiversidad regional en paisajes), en la RAFA No. 39-40 del 2003. Todo ese conocimiento generado ha permitido reconocer el valor fundamental de la cobertura arbórea para las fincas ganaderas y el paisaje de la región, no solo por los productos que brinda sino por su papel en el mantenimiento de una alta diversidad biológica.

A partir de este conocimiento, Silpas, FunciTree y MF-Landscapes se enfocaron en cinco funciones ecológicas fundamentales de los árboles en el sistema productivo: las diferencias entre especies en la repuesta a la estacionalidad climática, la producción de alimento para el ganado en la época seca, la capacidad de brindar sombra para el ganado y la producción de leche, y el efecto de los árboles sobre la fertilidad del suelo y la productividad de las pasturas. Mediante algunos estudios se han determinado los beneficios que los productores perciben de los árboles y las funciones que les interesan; es decir, los servicios ecosistémicos provistos a nivel de finca. Otro grupo de estudios abarcó el tema del rol de las políticas nacionales y de los instrumentos que promueven el uso de la tierra y la producción ganadera armónicos con los sistemas biológicos del suelo, terrestres y acuáticos. Este conocimiento es muy importante porque las decisiones que los productores toman en la finca tienen gran impacto sobre las funciones productivas y ecológicas. Por lo tanto, una mejor comprensión de las razones que determinan la toma de decisiones de los productores es un componente indispensable para diseñar sistemas silvopastoriles socioecológicamente sostenibles.

Graciela M. Rusch (coordinadora de los proyectos). Norwegian Institute for Nature Research (NINA), Trondheim, Noruega. graciela.rusch@nina.no <http://funcitree.nina.no/>

A continuación se presenta una selección de trabajos que, en conjunto, muestran resultados a niveles y escalas muy distintas, desde el nivel nacional hasta la caracterización particular de algunas especies, en función de estrategias de uso del agua y de los recursos, así como de sus propiedades para la producción de follaje para la alimentación de los animales.

Los trabajos de Casals *et al.* (en revisión, *Plant & Soil*) y de Miranda *et al.* (en este número) muestran que los árboles hacen una contribución neta al contenido de carbono orgánico y de nutrientes en el suelo. Esta contribución, sin embargo, no se refleja en un incremento de la producción de pasto. Otros estudios muestran que los árboles tienden, en general, a reducir la productividad del pasto (Zapata *et al.*, en este número; Gamboa 2009), pero hay diferencias marcadas entre especies de árboles que probablemente tienen que ver con la arquitectura de la copa y la estacionalidad del follaje. Para algunas especies de árboles, las diferencias en producción de pasto debajo del árbol y en pastura abierta no son muy marcadas. Por lo general, la producción de pasto se reduce en la época de lluvias, en los períodos de máxima productividad, cuando la oferta de forraje no constituye la limitación principal para la producción del ganado.

En cambio, la sombra del árbol es importante para reducir el estrés calórico en los animales (García Cruz *et al.*, en este número), lo que puede redundar en la condición del animal. Mosquera (2010) y Salazar *et al.* (en este número) muestran que los productores aprecian esta función y que la asocian a distintas especies de árboles.

Las herbáceas constituyen el fundamento sobre el que se basa la producción de ganado en estos sistemas. Según Morales *et al.* (en este número), existen marcadas diferencias en la distribución regional y local de la diversidad de especies de herbáceas nativas y exóticas en las zonas ganaderas de Rivas y Muy Muy. Una característica común del funcionamiento de los pastos es que, en la época seca, la producción herbácea se detiene casi completamente (Zapata *et al.*, en este número), tanto en los pastos naturales como en los introducidos (Ospina *et al.* 2012). Entonces, el rol de los árboles para cubrir el déficit forrajero en la época seca es importantísimo, y pareciera no estar adecuadamente valorizado. Pérez *et al.* (en este número) muestran las diferencias de consumo, preferencia del ganado y calidad entre varias especies de árboles; por su parte, Lombo *et al.* (en este número) estudiaron la

capacidad de rebrote y el mantenimiento de la producción luego de cortes repetidos.

En conjunto, estos estudios indican que el aumento de la cobertura arbórea y el enriquecimiento en el número de especies utilizadas brindan la oportunidad de aumentar el potencial productivo y diversificar la producción. Varias de las especies que cumplen funciones de provisión de sombra, producción de frutos, delimitación de potreros, pueden también ser fuentes de madera y leña para consumo en la finca o para la venta. También cumplen la función de fijar y almacenar carbono (Jiménez *et al.*, en este número). Mosquera (2010) mostró que los productores aprecian todas estas funciones y, particularmente, que las especies multifuncionales son preferidas. La multifuncionalidad de la finca se podría incrementar cuando se combinan varias especies con características diferentes.

Es importante conocer las respuestas de las especies a las condiciones biofísicas del ambiente para diseñar sistemas silvopastoriles para el futuro. Los cambios que se esperan en la zona como consecuencia del calentamiento global, indican una mayor incidencia de sequías marcadas y una mayor ocurrencia de eventos climáticos erráticos. En este contexto, Chunchu *et al.* (en este número) muestran distintas formas en que los productores enfrentan el período seco en la región.

También es necesario entender cómo las distintas especies silvopastoriles hacen uso del agua para diseñar sistemas que puedan absorber estos cambios. La distribución y los atributos de las raíces son características relacionadas con la forma en que las especies de árboles enfrentan la estacionalidad climática (Bucheli *et al.*, en este número). Los productores son conscientes del desafío que el período seco significa para la producción y reconocen las características de los árboles que les ayudan a sobrellevar la estacionalidad de las lluvias (Andrade 2010).

Las decisiones sobre el tipo de prácticas y de producción que toma el productor redundan en muchos aspectos del funcionamiento del sistema socioecológico silvopastoril a nivel local y del paisaje. Por ejemplo, Chica (2011) encontró que el tipo de prácticas y el nivel de producción de leche de la finca se relacionan con las condiciones socioeconómicas de la finca. A su vez, Ochoa *et al.* (en este número) investigan cómo tales condiciones determinan el grado de cumplimiento de prácticas para la ganadería sustentable. O'Toole y Støen (en este número)

muestran los cambios históricos en los paradigmas de desarrollo del sector ganadero en Nicaragua y sus consecuencias sobre el uso de la tierra; Støen (en este número), por su parte, reseña la aplicación actual de una iniciativa de incentivos público-privada para fomentar cambios en el manejo de bosques ribereños.

Otra medida para promover cambios a nivel de finca es la transferencia de conocimiento y la capacitación. FunciTree ha implementado una serie de parcelas demostrativas² de sistemas silvopastoriles multifuncionales en la zona de Rivas, con el fin de concientizar al productor sobre la importancia de aumentar la riqueza de especies y la densidad de árboles para obtener mayores beneficios a lo largo del año. Las parcelas también muestran que las especies de leñosas introducidas en el sistema silvopastoril (forrajeras y frutales) se complementan con las leñosas en las cercas vivas y árboles dispersos en potreros. Las parcelas fueron establecidas en forma participativa a partir de las preferencias indicadas por los productores y por el tipo de servicios ecosistémicos que el productor desea potencializar en su finca (Salazar *et al.*, en este número).

En el nombre de los proyectos Silpas, MF-Landscapes y FunciTree queremos agradecer a los productores, instituciones y tomadores de decisiones que, de distintas maneras, participaron en los estudios. Gracias por su interés en los proyectos y por su colaboración; por permitir la conducción de los estudios en sus fincas; por brindarnos su tiempo en las entrevistas y facilitar los trabajos

de campo. Silpas y MF-Landscapes han sido financiados por el Consejo de Investigaciones de Noruega (RCN) y FunciTree es cofinanciado por la Comunidad Europea y 7FP. Las organizaciones participantes en los proyectos son CATIE (Costa Rica/Nicaragua, www.catie.ac.cr), NINA (Noruega, www.nina.no); UMB (Noruega, www.umb.no); HiHdm (Noruega); CSIC (España); CTFC (España); WUR (Países Bajos); CIRAD (Francia); ISRA (Senegal), IER (Mali) y SUM-UiO (Noruega). A todos ellos, nuestro agradecimiento sincero.

BIBLIOGRAFÍA

- Casals, P; Romero M, J; Rusch, GM; Ibrahim, M. 2013. Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. *Plant and Soil*. DOI: 10.1007/s11104-013-1884-9.
- Chica, D. 2011. Análisis de la relación entre cobertura y composición arbórea, factores de manejo y productividad ganadera en fincas doble propósito del departamento de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p.
- Gamboa, HA. 2009. Efecto de la sombra de genízaro (*Albizia saman* Jacq.) y coyote (*Platymiscium parviflorum* Benth.) sobre la productividad primaria neta aérea y la composición química de pastizales seminaturales en fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 82 p.
- Mosquera Andrade, D. 2010. Conocimiento local sobre bienes y servicios de especies arbóreas y arbustivas en sistemas de producción ganadera de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 128 p.
- Ospina, S; Rusch, G; Pezo, D; Casanoves, F; Sinclair, F. 2012. More stable productivity of semi natural grasslands than sown pastures in a seasonally dry climate. *PLoS ONE* 7(5): e35555. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0035555>

² Contacto en CATIE: Dalia Sánchez, dsanchez@catie.ac.cr y Cristóbal Villanueva, cvillanu@catie.ac.cr; en la Escuela de Agricultura: Ing. Fernando Moraga o Martín Jiménez, fer061061@yahoo.com, ronaldo.jimenez@hotmail.com; en la finca en Cantimplora con el productor Martín Mena, tel. + (505) 88789349.

Ecología histórica de la ganadería y usos de la tierra asociados en Muy Muy y Belén, Nicaragua

¹Daniel O'Toole, Mariel Aguilar-Støen

RESUMEN

La hegemonía histórica de la élite económica en Nicaragua ha influido en el desarrollo de la economía nacional y de sus principales productos, muchos de los cuales se derivan de la ganadería. Este desarrollo ha oscilado con las tendencias del mercado y los cambios tecnológicos, pero no fue sino hasta el año 1979 que se dieron cambios fundamentales en las relaciones laborales del sector agrícola. Hasta ese momento, las prácticas agrícolas de los campesinos de Nicaragua, incluyendo los sistemas silvopastoriles, se basaban en el conocimiento local. A pesar de que las reformas impulsadas por la Revolución Sandinista difundieron muchas de las tecnologías que previamente habían sido monopolizadas por los grandes terratenientes, las prácticas locales fueron en muchos casos combinadas con tecnologías de la Revolución Verde. Durante las últimas décadas se han incentivado y fortalecido las prácticas locales de larga data, con el apoyo de organizaciones internacionales.

Palabras claves: ecología política, historia ambiental, historia rural, manejo de la tierra.

ABSTRACT

Historical ecology of cattle ranching and related land uses in Muy Muy and Belen, Nicaragua

The historical hegemony of the economic elite in Nicaragua has influenced developments within the national economy and on its main products, many of which derive from cattle ranching. These developments have ranged from market trends to technological shifts, but it was in 1979 that fundamental changes in the worker/ employer relationship within the agricultural sector occurred. Until that point, the agricultural practices of the Nicaraguan peasantry, including silvopastoral systems, were largely based on local knowledge. Even if the Sandinist Revolution spread technologies previously monopolized by large-scale landowners, local practices were in many instances combined with the technologies of the Green Revolution. In the past few decades, a range of initiatives boosted by international organizations have stimulated and reinvigorated ancestral local practices.

Keywords: political ecology, environmental history, rural history, land management.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este ensayo es analizar la ecología histórica de la ganadería: una de las actividades agrícolas y económicas más importantes de Nicaragua desde el arribo de los primeros pobladores españoles a principios del siglo XVI. La ganadería es una actividad productiva con importantes consecuencias económicas, sociales y ambientales, por lo que nuestro análisis se centra en los factores socio-políticos y económicos, así como en los actores involucrados en su desarrollo desde el período poscolonial hasta el presente. Nos hemos enfocado en la dinámica de los factores sociales y naturales que inciden en la producción del paisaje ganadero de Nicaragua. En especial, hemos prestado atención a la larga historia de

los sistemas agroforestales en el país; así, analizamos los factores socio-ambientales y los actores involucrados en la presencia y evolución, eventual abandono y recuperación de prácticas agroforestales y silvopastoriles en espacios ganaderos. A partir del análisis en cuestión, en un segundo momento proponemos matices a la narrativa que vincula la ganadería con la degradación de la tierra y la deforestación (Edelman 1995, Kaimowitz 1996, Harrison y Huntington 2000). Buena parte de este debate se centra exclusivamente en las consecuencias económicas y ambientales de la ganadería en América Latina durante la segunda mitad del siglo XX, pero se deja de lado la historia mucho más larga de las decisiones de gestión de la tierra que han influido en el estado actual.

1 Centro de Estudios para el Desarrollo y el Ambiente, Universidad de Oslo, Noruega danotoole81@yahoo.com; m.c.a.stoen@sum.uio.no

El presente ensayo puede ser de interés para los técnicos que trabajan con sistemas agroforestales en Nicaragua y otros países mesoamericanos, pues les ayudará a entender por qué se abandonaron ciertas técnicas y prácticas nativas de la región. En este ensayo aplicamos la lógica de Painter (1995) en tanto que los aspectos técnicos de la producción no pueden ser tratados en forma aislada “*sin tener en cuenta la cuestión histórica de cómo un sistema de producción llegó a ser*”. Igualmente, vinculamos las decisiones locales de gestión de la tierra con procesos de transformación histórica de mayor escala que han informado hasta el día de hoy las decisiones de uso de la tierra y que pudieran también tener implicaciones en la estructuración de las inversiones futuras en la región.

Este ensayo se basa en métodos cualitativos convencionales de las ciencias sociales, incluyendo revisión de fuentes primarias y secundarias, interpretación de fotografías aéreas, visitas a fincas y entrevistas a familias ganaderas en las municipalidades de Belén y Muy Muy, Nicaragua. El texto se divide en cinco secciones: la ganadería poscolonial, la ganadería durante la consolidación del modelo económico de agroexportación y el inicio de la intervención estadounidense en Nicaragua, la ganadería durante la dictadura somocista, las reformas de la revolución sandinista y, finalmente, el uso actual de la tierra en Muy Muy y Belén.

1. La ganadería poscolonial en Nicaragua

En el territorio de lo que hoy es Nicaragua, el ganado vacuno se introdujo no mucho después de la llegada de los primeros europeos al istmo de Rivas, en 1522 (García 1943-1944, Newson 1987). La introducción del ganado provocó un gran número de cambios ecológicos y socioeconómicos y en el uso de la tierra, con consecuencias irreversibles para el paisaje y los habitantes originales de América Central. La ganadería se convirtió rápidamente en una actividad económica fundamental de la colonia en Nicaragua, que aprovechó la reducción de la población indígena y las vastas sabanas cubiertas de pasto que esta población dejó atrás. Desde entonces, la ganadería y la evolución de los usos asociados de la tierra han sufrido cambios sociales, económicos y políticos, a menudo rápidos y pronunciados.

Desde la invasión española hasta la independencia, la ganadería ha constituido de manera continua uno de los pilares más importantes de la economía rural nicaragüense. A partir de la segunda mitad del siglo XIX, la ganadería extensiva - la principal actividad económica en el occidente del país- fue controlada por una élite

durante más de 200 años. Esta élite estaba conformada por un grupo de familias oligárquicas cuyas extensas propiedades agrícolas se habían consolidado mediante la apropiación, muchas veces violenta, de tierras comunales indígenas. Algunos argumentan que la ganadería extensiva jugó un papel decisivo en la conformación del ‘campesinado nicaragüense’: trabajadores desplazados o sin tierra que rentaban parcelas dentro de las grandes propiedades agrícolas para sembrar granos básicos; a cambio, prestaban su mano de obra en las actividades diarias de la ganadería (Midinra 1984). Esta estructura hizo que el mercado interno se desarrollara muy poco y mantuvo a la mayoría de la población bajo condiciones de subsistencia o en un ciclo de deuda que ató a los trabajadores a condiciones serviles dentro de las haciendas controladas por los terratenientes (Wheelock y Carrión 1984). El control de los medios de producción permitió no sólo la acumulación de capital económico mediante el comercio de ganado y sus derivados, sino también la acumulación de capital social y político que ayudaría a las élites a perpetuar el *status quo* de la jerarquía social (Sequeira 1985). A medida que el siglo XIX avanzaba, los intereses y las conexiones políticas de las élites se alineaban cada vez más con los intereses de los Estados Unidos.

George E. Squier fue el primer diplomático estadounidense en América Central y llegó a Nicaragua en 1849, lo que marcó el inicio de la intervención estadounidense en la joven república centroamericana (Brás 1994). En sus escritos, Squier (1860) describe un paisaje de “*sabanas amplias y abundantes, aptas para el pastoreo y que sostenían grandes rebaños de ganado*”. También describió sistemas silvopastoriles que combinaban el árbol de jícara (*Crescentia cujete*) con el pastoreo, la utilización de cercas vivas en varios estratos y de árboles forrajeros y frutales. Estos sistemas silvopastoriles correspondían a prácticas agrícolas precoloniales que se combinaron con la ganadería extensiva introducida por los colonizadores ibéricos.

El tipo de ganado vacuno predominante en Nicaragua ha sido la raza criolla derivada de razas ibéricas que habitaban la zona de matorral abierto de las llanuras centrales de España desde el siglo XI (Bishko 1952, Abbass 1993). De acuerdo con fuentes primarias coloniales, las razas ibéricas ocuparon de inmediato las vastas sabanas del occidente de Nicaragua (García 1943-44, Remesal 1964) y se multiplicaron abundantemente sin necesidad de talar terrenos forestales, ni de introducir pastos exóticos, ni de darles un manejo espe-

cial. El paisaje nativo se transformó primeramente por la introducción misma de ganado extranjero, y luego por la utilización por parte de los campesinos de los sistemas silvopastoriles que integraron los animales domésticos con los recursos locales.

La raza criolla todavía es dominante en Nicaragua hoy día; son animales de baja productividad en carne y leche pero con una alta capacidad para sobrevivir en condiciones climáticas adversas (Valdivia 1968).

2. Inicios del nuevo modelo agroexportador²

La ganadería extensiva comenzó a perder importancia en la economía nacional durante el período de 1857-1893. En esta época, el mercado internacional empezó a fijarse en América Central como fuente de café y banano para satisfacer las demandas de los consumidores norteamericanos y europeos (Crawley 1979). Esto dio lugar a cambios considerables en el uso de la tierra; de hecho, algunos autores caracterizan esta época como “imperialismo ecológico” (Faber 1993, Palacio 2006).

La expansión agrícola ocurrió a expensas de bosques y pasturas, muchos de los cuales habían incorporado los sistemas silvopastoriles. Con la promulgación de leyes que favorecían la colonización de la zona alta central, ocurrió la expansión de plantaciones de café de propiedad extranjera alrededor de Muy Muy y otros lugares (Radell 1969). Asimismo, se establecieron plantaciones bananeras en Belén y en otras partes del istmo de Rivas (Radell 1969).

El nuevo modelo agroexportador hizo que se prestara mayor atención a la gestión de los potreros restantes. En esta época se introdujeron especies de pastos africanos ‘mejorados,’ como el guinea, también conocido como asia (*Panicum maximum*), el pará (*Brachiaria mutica*) y el jaragua (*Hyparrhenia rufa*) (USDA 2000, GISD 2006, 2010). La introducción de estos pastos exóticos acabó con el dominio de los pastos nativos, como la grama (*Paspalum* spp.) y alteró la composición de los potreros de Nicaragua hasta el presente (Sequeira 1985).

Thomas Belt, naturalista inglés que vivió en Nicaragua entre 1868 y 1872, da cuenta en sus escritos de que el pasto guinea y el pará estaban ya bien establecidos en algunos potreros durante esta época. Belt (1888) describió sabanas onduladas, sabanas secas y sabanas de

mucho pasto y, además, mencionó el uso del fuego para la expansión de los campos agrícolas. Sus comentarios sobre el ganado confirman que el criollo era la raza exclusiva de ganado en el momento de su visita. Belt ofrece también una de las primeras descripciones del paisaje de Muy Muy: “la tierra alrededor era fértil... Algunas [familias campesinas] poseen ganado, y quienes no lo tienen a veces ayudan a los que tienen y reciben un pago que les permite cubrir las necesidades mínimas de la familia.” Cuanto más cambian las cosas, más permanecen igual.

En 1893, el general José Santos Zelaya protagonizó una revuelta que le llevó a la presidencia durante los siguientes 16 años (Brás 1994). A pesar de su retórica abiertamente autonomista, Zelaya atrajo la inversión extranjera a Nicaragua, que dio inicio a lo que Barahona (1988) ha llamado “el modelo de acumulación capitalista” de desarrollo nacional. Durante el gobierno de Zelaya se expandió la producción de café y aumentaron las exportaciones de banano, aunque la producción era controlada por empresas norteamericanas como la United Fruit Company (Crawley 1979, Brás 1994). Temporalmente, el banano desplazó a la ganadería como principal actividad económica del país. Sin embargo, como resultado de la apertura de la economía nicaragüense, se introdujeron nuevas razas de ganado. El cebú de India, bien adaptado a los climas tropicales, llegó a Nicaragua a principios del siglo XX (Rouse 1977). Aunque inicialmente se importó como bestia de tiro, las ventajas de esta raza en cuanto a la producción de carne y leche también eran evidentes. Por la misma época, un nicaragüense interesado en la cría selectiva, Joaquín Reyna, trabajó en el desarrollo de una raza local a partir de ganado criollo; para ello seleccionó ejemplares que mostraban un nivel relativamente alto de producción de leche (Rouse 1977). El resultado fue la raza reyna, que se utilizaría para propósitos de cruzamiento y reproducción en el curso del siguiente siglo.

El gobierno de Zelaya cayó con la intervención de los *marines* norteamericanos, enviados por el presidente estadounidense William H. Taft en 1909. Esto marcó el inicio de una nueva era de intervencionismo estadounidense en Nicaragua. Los *marines* mantuvieron una presencia casi continua en el país durante los siguientes 24 años. Los grupos liberales, conservadores y rebeldes se disputaban el poder, en tanto que la inversión

2 Los antiguos modelos agroexportadores incluyen las rutas comerciales de los Niquiranos (uno de los grandes núcleos poblacionales de Nicaragua a la llegada de los españoles que ocupaban la parte comprendida entre el gran Lago y el océano pacífico, Isla de Ometepe y Zapatera) y el imperio naviero español.

extranjera se reducía y la economía nacional se debilitaba. Sin embargo, la economía local de los productores agrícolas dependientes de los mecanismos tradicionales de comercialización mejoró debido al control estadounidense sobre la economía nacional y el debilitamiento de las élites nicaragüenses (Gobat 2005). En 1933, se retiran los marines y la Guardia Nacional de Nicaragua asume el control militar del país. En 1936, el director de la Guardia, Anastasio Somoza García, se convierte en el dictador militar de Nicaragua (Brás 1994).

3. Crecimiento del modelo agroexportador somocista

En coincidencia con los intereses comerciales de los EE.UU., Somoza inició una modernización tecnológica de la industria agroexportadora. Esta modernización incluía un mayor uso de agroquímicos y la construcción de carreteras y fábricas, aunque no consideraba una mejora en el nivel de vida ni de los servicios básicos para la mayoría de los nicaragüenses, que continuaban viviendo como peones agrícolas.

La expansión de la industria algodonera comenzó durante la Segunda Guerra Mundial y provocó el desplazamiento forzoso de miles de familias campesinas desde las llanuras de León y Chinandega. El desplazamiento campesino condujo a la expansión de la frontera agrícola hacia el este del altiplano central (Levard y Marín 2000), en donde se refugiaron los desplazados en laderas poco apropiadas para la agricultura (Midinra 1984, Faber 1993). Como consecuencia, aumentó la erosión del suelo, la pérdida de fertilidad y las inundaciones que, anualmente, causan considerable destrucción de cultivos, propiedades y vidas.

Otras familias desplazadas entraron en relaciones de trabajo semi-serviles en las plantaciones de algodón (Midinra 1984) o emigraron a las ciudades, especialmente a Managua, que experimentó un aumento notable de la población de 39.000 en 1906 a 275.000 en 1963 (Radell 1969). La expansión industrial del algodón y otros cultivos de agroexportación provocó el crecimiento de la industria agroquímica, con graves efectos ecológicos y sociales.

Extensas áreas en la costa del Pacífico -ya fueran bosques, pastizales o plantaciones de árboles frutales- fueron convertidas en plantaciones de monocultivo (caña de azúcar y algodón) con efectos destructivos de la fertilidad del suelo (Levard y Marín 2000). En la década de 1950, las llanuras de León eran esencialmente un *“laboratorio de experimentación de pesticidas”* que

causó decenas de muertos y cientos de enfermedades (Faber 1993).

Con apoyo financiero de EE.UU., Somoza aumentó en más de 4000 kilómetros las carreteras en Nicaragua entre 1950 y 1960 (Radell 1969). En 1957 se inauguró el Matadero Modelo en Managua, la planta empacadora de carne más grande en Centroamérica, con capacidad para procesar alrededor de 400 cabezas de ganado al día. Esto hizo que definitivamente cambiara la faz de la ganadería en el país (Radell 1969, Kaimowitz 1996). Hasta entonces, el ganado se transportaba a pie para la venta en mercados nacionales o en países tan distantes como Guatemala (MacLeod 1973). Con la construcción de carreteras fue posible el transporte diario de ganado en camión hasta Managua. Las mejoras en la infraestructura hicieron que lugares relativamente remotos, como Muy Muy, se articularan a la industria nacional de procesamiento de carne.

Antes de la Ley de Importación de Carne a los EE.UU. de 1964, casi no existían restricciones a las importaciones de carne de ganado vacuno (Kaimowitz 1996). La línea aérea nacional Lanica, propiedad de la familia Somoza, llenaba su espacio de carga adicional en los aviones de pasajeros a Miami con carne procesada y congelada (Radell 1969). El alza internacional en el precio de la carne, el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo y del Banco Mundial y la creciente demanda en los EE.UU. fueron incentivos para que las exportaciones nicaragüenses de carne aumentaran de 9671 kg en 1960 a 74.927 kg en 1979 (Midinra 1984). Al mismo tiempo, el área del país dedicada a potreros aumentó de 1896 ha en 1960 a 4676 ha en 1979 (Midinra 1984). Esto produjo una deforestación sustancial de bosques maduros y el despojo de los pequeños agricultores a manos de los grandes terratenientes, quienes alquilaban extensiones de terreno forestal con la condición de que los inquilinos eliminaran la cubierta forestal, sembraran granos básicos y establecieran potreros cuando la fertilidad del suelo se reducía (Midinra 1984, Kaimowitz 1996). Así pasó a la historia la estrategia tradicional de manejo de la tierra, que incorporaba múltiples cultivos y animales domésticos en los sistemas silvopastoriles para reducir los riesgos de los productores pequeños.

El ganado vacuno criollo había sido utilizado como un animal de todo uso que proporcionaba carne, leche y fuerza de tiro. Con la construcción del Matadero Modelo y de una planta procesadora de leche en Matagalpa, llamada Prolacsa, el aumento de la especia-

lización de las razas se convirtió en una prioridad. En un intento por mejorar la calidad de las exportaciones de carne, las razas Brahman americano y Santa Gertrudis (cruce de Brahman x Shorthorn) fueron introducidas a los rebaños de Nicaragua (Rouse 1977). Razas lecheras europeas, como Jersey, Pardo suizo y Holstein-friesian, también fueron introducidas y cruzadas con las razas nativas reyna y criolla, con el fin de aclimatarlas (Rouse 1977). Se empezaron a emplear nuevas técnicas para el manejo del ganado, como el uso de vacunas y otros medicamentos, suplementos nutricionales y la inseminación artificial, además de nuevas especies de pastos exóticos (Faber 1993).

4. La reforma agraria de los sandinistas

El Frente Sandinista de Liberación Nacional (FSLN) derrocó la dictadura de los Somoza y asumió el control gubernamental en 1979 (Brás 1994). Los sandinistas, sin embargo, heredaron un país en ruinas. Se estima que unos 50.000 nicaragüenses murieron en el transcurso de la revuelta popular y otros 120.000 huyeron a países vecinos, muchos llevando sus rebaños de ganado con ellos (Brás 1994, Edelman 1995). La mitad de la tierra nacional era propiedad de sólo el 1% de la población y el 20% de la tierra agrícola más fértil del país era propiedad de la familia Somoza (Faber 1993). El sector ganadero también estaba en crisis, agravada por las restricciones más severas que los EE.UU. impusieron a las importaciones de carne a partir de 1979 (Edelman 1995). Debido a la deflación de la moneda, los impuestos a la exportación se elevaron de manera significativa, junto con los gastos de producción (Edelman 1995, Kaimowitz 1996).

La época del modelo de acumulación capitalista, por el momento, había terminado. En realidad, durante los tres primeros cuartos del siglo XX este modelo sólo había beneficiado al 1% de la población nicaragüense con acceso a la tierra nacional y al capital para invertir en infraestructura y razas de ganado importadas, y que además podía transportar las reses en camión hasta Managua. El *boom exportador* benefició muy poco a los ganaderos en pequeña escala (Kaimowitz 1996), que contaban con unas cuantas cabezas de ganado para el consumo local de leche y queso. Para el nuevo gobierno sandinista, las prioridades inmediatas se enfocaban en el bienestar del 99% de la población. Para los sandinistas, la ganadería extensiva en sí misma era un símbolo de la explotación histórica de los recursos naturales y la opresión de la clase obrera (Midinra 1984, Neira 1988). Por lo tanto, uno de los primeros actos de los sandinistas

en 1979 fue la aplicación de la revolucionaria Ley de Reforma Agraria.

Esta reforma perseguía la nacionalización de todas las propiedades de la familia Somoza y sus asociados (Brás 1994). Además, casi el 40% de las haciendas de más de 350 hectáreas fueron confiscadas por el gobierno sandinista (Neira 1988). Debido a la amenaza de expropiación, algunos ganaderos en gran escala intentaron devaluar sus activos “*no sustituyendo sus toros, dejando de lado sus potreros, o matando sus vacas en edad reproductiva*” (Kaimowitz 1996). La tierra confiscada fue organizada en ‘empresas’ estatales de titularidad comunal mediante la Ley de Creación de Empresas de la Reforma Agraria, promulgada en 1981 (Ortega 1983). Estas empresas se especializaban en un producto típico de la zona geográfica en la que estaban situadas. El proyecto Héroes y Mártires de Pancasán, en las proximidades de Muy Muy, creó lo que llegó a ser conocido como la Ruta de la Leche. En las cercanías de Belén, el ingenio azucarero Dolores se nacionalizó con el nombre de ingenio Benjamín Zeledón.

En un inicio, los sandinistas intentaron regular la importación de pesticidas perjudiciales, como el DDT (Faber 1993) y excluyeron las industrias extractivas extranjeras (Miller 2007). Sin embargo, a la vez se adoptaron tecnologías de la ‘Revolución Verde,’ incluyendo semillas modificadas, fertilizantes químicos y prácticas de agricultura mecanizada, todo lo cual llevó a los pequeños agricultores a una mayor dependencia de los productos agroquímicos importados. Los recursos y conocimientos locales, como el uso de árboles forrajeros y otros sistemas agroforestales, perdieron importancia en muchos espacios rurales (Neira 1988, Levard y Marín 2000).

El proyecto Héroes y Mártires de Pancasán se implementó al inicio de los ochentas con la colaboración de extensionistas agrícolas cubanos. Ya establecida como zona ganadera de cierta importancia, Muy Muy se destinó a la producción de leche con la introducción de las razas holstein-friesian y pardo suizo y su cruzamiento con criollo y reyna. El pasto estrella (*Cynodon nlemfluensis*) también fue introducido en ese momento. Los pequeños ganaderos, quienes habían recibido títulos de propiedad como resultado de la revolución, vieron el potencial económico de la producción comercial de leche; el ganado de doble propósito pronto se convirtió en el *modus operandi* de la región.

Muchos grandes propietarios en esta zona se vieron obligados a vender parte de sus tierras al gobierno a precios por debajo del valor de mercado; en reacción, empezaron a acusar al proyecto Héroes y Mártires de Pancasán de haber causado una deforestación desenfrenada de los bosques de la zona. Las fotografías aéreas históricas dan cuenta de una historia diferente. Si bien es cierto que hasta 1947 el área era de hecho un bosque extenso con muy pocas carreteras, la deforestación ya era evidente en fotografías de 1958. En 1970, se mejoró la carretera al norte de Muy Muy y la tierra en los alrededores y a lo largo del río Grande de Matagalpa perdió la cobertura arbórea. A partir de 1981 el proceso de deforestación en esta área estaba muy avanzado, aunque no parece el resultado directo del proyecto Héroes y Mártires de Pancasán.

Casi todos los esfuerzos por la transformación socioeconómica de Nicaragua impulsados por los sandinistas quedaron en suspenso a causa de una guerra civil cada vez más violenta, apoyada por el gobierno estadounidense de Ronald Reagan. El gobierno de los EE.UU. destinó cerca de \$1 millón a la guerra contrarrevolucionaria, por lo que el gobierno sandinista se vio obligado a desviar gran parte de su presupuesto hacia la defensa (Faber 1993). A partir de 1985, Reagan impuso un embargo comercial total contra Nicaragua, que acabó con el flujo de carne hacia los EE.UU. y de productos agrícolas desde los EE.UU. hacia Nicaragua (Kaimowitz 1996). Esto coincidió con una tendencia general en América del Norte que boicoteaba el consumo de carne centroamericana como resultado de la popularización de la teoría de “*la conexión de la hamburguesa*” (Kaimowitz 1996). Si bien Nicaragua comenzó a exportar ganado vivo a México y carne congelada a Canadá, la economía nacional de exportación cayó de forma precipitada y se elevó la inflación (Kaimowitz 1996).

La guerra civil tuvo otros efectos nocivos en la zona rural nicaragüense. Soldados contrarrevolucionarios destruyeron proyectos de infraestructura, agrícolas y recursos naturales, que causaron el desplazamiento de unos 250.000 campesinos quienes huyeron de las zonas de conflicto a lugares como Muy Muy, cuya área urbana se triplicó en este tiempo, o a Managua, que ya tenía dificultades para proporcionar servicios básicos a una población creciente (Faber 1993). Entre 1979 y 1988, la población urbana de Nicaragua aumentó en un 53% (Neira 1988). Algunos de los que se quedaron en el campo y continuaron trabajando en el sistema cooperativo agrícola reunieron sus recursos para invertir

en ganado, como una protección contra la inflación (Kaimowitz 1996).

Sin embargo, la falta total de apoyo a los ganaderos después de la derrota electoral de los sandinistas en 1990 obligó a muchas de estas cooperativas a liquidar sus activos, incluido el ganado. En consecuencia, se inicia un periodo de subutilización o abandono de dos millones de hectáreas de potreros (Kaimowitz 1996). Las antiguas cooperativas fueron compradas por grandes ganaderos y así se regresa a la ganadería extensiva en gran escala (Levard y Marín 2000). Sin embargo, a diferencia del pasado, queda todavía un número mucho mayor de pequeños ganaderos que mantuvieron la posesión de fincas familiares obtenidas con la reforma agraria sandinista.

A pesar de que la intervención gubernamental en el campo en la década de 1990 fue insignificante, el cese de la violencia en las zonas rurales y la apertura de un mercado de exportación favorable para la leche estimularon la ganadería; miles de hectáreas de pastizales abandonados fueron recolonizados y, para el año 2000, las exportaciones del ganado ya superaban los niveles alcanzados a finales de los setentas (Szott *et al.* 2000). Buena parte del crecimiento actual de la ganadería se debe al apoyo de una serie de programas internacionales de asistencia técnica para el desarrollo. Gran parte del trabajo ha incluido la investigación e incentivación de tecnologías silvopastoriles sostenibles de gran antigüedad, tales como las cercas vivas, árboles forrajeros y otras medidas biointensivas que han sido redescubiertas por los productores agrícolas rurales. Nuevas tecnologías recién introducidas incluyen el almacenamiento de forraje en silo, nuevas especies exóticas de pasto y el uso racional de productos químicos, en vez de las quemadas, para la supresión de malezas.

5. El mosaico actual de uso de la tierra: comparación entre Muy Muy y Belén

En esta sección analizamos de manera comparativa el estado actual del uso de la tierra en las municipalidades de Muy Muy y Belén. Queremos resaltar las distintas trayectorias de las prácticas ganaderas como consecuencia, principalmente, de las relaciones diferentes en cada zona entre productores ganaderos, el Estado y los mercados, y de manera particularmente significativa, con los programas de asistencia al desarrollo.

Muy Muy se ubica en la zona alta central del departamento de Matagalpa, y ha sido foco de intervención

agrícola internacional desde que se inició el proyecto Héroes y Mártires de Pancasán en la década de 1980. El discurso, las prácticas y las tecnologías de hegemonía científica han llegado, como consecuencia, a ser parte importante de la práctica y el discurso local. Los sistemas silvopastoriles, las cercas vivas y los pastos exóticos son utilizados por todos los productores agrícolas, grandes y pequeños, independientemente de su participación en los proyectos iniciales de asistencia técnica. Esto se ha logrado por medio de un sistema de intercambio local “de productor a productor” impulsado por escuelas campesinas que surgieron en los ochentas y que prevalecen hasta el presente (Cantera 2006). Las escuelas campesinas funcionan como un canal efectivo para la transmisión de conocimientos y prácticas promovidas por agencias de desarrollo. Uno de los ejemplos más llamativos de la hegemonía de la ciencia racionalista en el discurso local es el conocimiento específico de las razas bovinas, la calidad nutricional de la leche y el efecto de los tipos de forraje en la calidad de la leche. Durante las entrevistas, algunos ganaderos explicaron detalladamente el contenido exacto de proteína de una hoja o brizna de pasto en particular. Esto no lo observamos en Belén.

El interés en los estándares comerciales de la producción de lácteos en Muy Muy se debe no sólo a la difusión de técnicas y discursos académicos, sino también a la fundación, hace unos cinco años, de una empresa local que suministra leche a la planta procesadora Parmalat en Managua. Parmalat es una empresa transnacional de orígenes europeos que opera en toda Centroamérica. Los ganaderos de Muy Muy venden actualmente su leche a esta empresa a precios fijos que dependen de la calidad nutricional del producto. Con una diferencia de 80 córdobas (casi US\$3,20) por pichinga (equivalente a 40 litros) en la remuneración entre las categorías más alta y más baja de la leche, no es sorprendente el interés de los ganaderos por asegurar la calidad de su leche a través de la cría selectiva y el uso de forrajes de alto valor proteico.

La mayoría de los pequeños agricultores en Muy Muy mantiene un mosaico diversificado de usos de la tierra que incorpora, además de vacas, gallinas, cerdos, caballos, pastos, granos básicos, un estanque de peces, árboles frutales y, a menudo, una pequeña parcela de bosque. Cambios recientes incluyen la introducción de nuevos pastos exóticos y animales nuevos, como el búfalo y el pelibuey. Algunos de los programas de desarrollo agrícola, financiados por agencias internacionales de desarrollo, impulsan el fortalecimiento de tecnologías y

prácticas de larga historia local, tales como cercas vivas, uso de árboles forrajeros, protección de cuencas hidrográficas, que se habían relegado a un segundo plano en aras de la “modernización” agrícola.

Una práctica agrícola difundida en Muy Muy es la sustitución casi total del fuego por agroquímicos, para la remoción de malezas y la fertilización de potreros. El uso de agroquímicos se generalizó en el país en la época somocista, se mantuvo en la época sandinista y se ha vuelto más accesible en la época moderna de globalización. De decenas de ganaderos entrevistados, sólo uno no utilizaba agroquímicos en su finca. Algunos agricultores reportaron incluso que ya no es posible producir sin agroquímicos. A la vez, muchos informantes eran plenamente conscientes de que esta dependencia de los agroquímicos importados afecta el ecosistema local y su salud. El uso de fertilizantes y agroquímicos se ha difundido dramáticamente en las pequeñas fincas de Nicaragua y para el año 2012, sus efectos en la salud humana y los recursos naturales son todavía inciertos.

Belén se sitúa en el istmo de Rivas y ha sido históricamente un polo de riqueza del país. El nivel material de vida es más alto y son mejores las vías de acceso que en el municipio de Muy Muy. La agricultura es una actividad importante, aunque los principales cultivos comerciales ya no son el cacao o el añil (como en el pasado), sino la papaya y la caña de azúcar para los grandes propietarios y el banano para los medianos y pequeños agricultores. La remoción manual de malezas, y no los agroquímicos o el fuego, sigue siendo la forma principal de manejo de los potreros y cultivos. Aunque los bovinos y sus potreros ocupan un papel importante en el paisaje, los productores no están muy interesados en la delimitación científica de las razas o preferencias forrajeras. La leche se comercializa a nivel local y la carne se procesa en el matadero de Nandaime. Los proyectos de asistencia para el desarrollo en esta zona se han centrado en aspectos diferentes a la ganadería, aunque hay cierto interés en los recursos naturales, principalmente la siembra de árboles con valor comercial o ecológico. Esto se explica en parte porque la ganadería no era el producto “típico” de la zona, ya que las llanuras del pacífico nicaragüense se han utilizado desde hace casi un siglo para la producción de caña de azúcar.

El ingenio azucarero Benjamín Zeledón en Potosí es la mayor fuente de empleo formal en el área, aunque su operación tiene importantes consecuencias ambientales y para la salud de las personas que habitan en

los alrededores. Después de décadas de rociar con productos agroquímicos, los reportes de enfermedades ocupacionales asociadas a la producción de caña son generalizados. El extremo más dramático es la alta incidencia de insuficiencia renal crónica entre trabajadores de ingenios azucareros; si bien este no es un problema exclusivo de Nicaragua, en el presente este es un tema de mucha preocupación (Aleman y Weissenstein 2012). Los efectos de las prácticas empleadas por el ingenio sobre la ecología del lago de Nicaragua es otro asunto que requiere más investigación; un estudio nacional realizado en 1981 encontró que el 75% de las fuentes de agua del país estaban contaminadas con restos de agroquímicos y el 25% adicional con “*contaminantes industriales altamente tóxicos*” (Faber 1993). El ingenio azucarero y los productores de plátano dependen del acceso permanente a las aguas del río Gil González; en colaboración con la municipalidad de Belén y la cooperación internacional se ha impulsado un programa de incentivos económicos para el mantenimiento de los árboles a lo largo de la cuenca. Algunos productores ganaderos participan en una iniciativa de pago por servicios ambientales por mantener y restaurar áreas de bosque en sus fincas.

CONCLUSIONES

Diversos y variados actores y factores políticos, sociales y económicos dan cuenta de las variaciones en las prácticas del manejo de la ganadería en Nicaragua. Factores económicos, sociales y políticos, pero también ideológicos, se han combinado para establecer y apoyar un enfoque particular de la ganadería a través de la historia.

Así pues, en ciertos períodos las prácticas ganaderas se enfocaron en sistemas que utilizan recursos nativos, mientras que en otros momentos predominaron las prácticas “modernas” que involucran el uso de pastos exóticos y el uso intensivo de agroquímicos. En la última década, con el apoyo de organismos internacionales, se han reintroducido prácticas locales ancestrales, como los sistemas agroforestales y silvopastoriles.

En las afueras del pueblo de Belén, desde la cima de la colina Miramar, son evidentes las marcadas diferencias paisajísticas en el uso de la tierra: hacia el oeste, en la región montañosa se ve un mosaico de potreros, agricultura, plantas de banano, bosques, sistemas silvopastoriles, cuencas forestadas y pequeños asentamientos de familias que practican la agricultura de subsistencia. Los productos de este paisaje se destinan al consumo

local o, generalmente, son transportados a Managua. En la amplia llanura fértil hacia el este se ven parcelas de monocultivo de papaya, plátano y caña de azúcar y el perfil del ingenio azucarero Benjamín Zeledón frente al lago de Nicaragua; hay pocos árboles, a excepción de los utilizados como rompevientos. Estos terrenos son, en su mayor parte, propiedad de inversionistas en gran escala; los productos de este paisaje se exportan a distancias considerables y de allí vuelven en forma de productos procesados. Las causas y los efectos de la deforestación en Nicaragua pueden encontrarse, analizarse y comprenderse estudiando estos dos paisajes con destinos tan diferentes en el presente, pero que partieron de una historia común en un pasado no muy lejano.

Las relaciones entre las personas, el ganado y la degradación de la tierra son histórica, social y económicamente complejas. Tales relaciones han sido objeto de debate académico, pero la publicación de *The Hamburger Connection* (Myers 1981) le dio otro giro al debate. Este nuevo giro se constituye en un discurso que representa a los ganaderos como “*enemigos de la selva y destructores de los recursos naturales*” (Szott et al. 2000), sin considerar otros matices; a saber, la íntima conexión de la ganadería con la economía y la política nicaragüenses desde la colonia, como este ensayo ha sugerido, o la existencia de ganaderos en pequeña escala que utilizan una serie de estrategias con el fin de reducir los riesgos inherentes a la agricultura de subsistencia en un país que ha experimentado considerable agitación política, social y medioambiental a lo largo de su historia.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbass, DK. 1993. Herd development in the New World Spanish colonies. In Herr, R. (Ed.). Themes in rural history of the Western world. Ames, IA, Iowa State University Press. p. 165-193.
- Alemán, F; Weissenstein, M. 2012. Mystery disease kills thousands: Some areas of Central America see an epidemic of kidney failures In Rochester Democrat and Chronicle. Rochester, NY, A Gannett Company. 13 p.
- Barahona, A. 1988. Auge y crisis del modelo de acumulación durante el somocismo en Nicaragua: cambios estructurales y políticas económicas 1979-1987. Managua, Nicaragua, INES, Centro de Documentación. p. 37-44.
- Belt, T. 1888. The naturalist in Nicaragua: A narrative of a residence at the gold mines of Chontales; journeys in the savannahs and forests with observations on animals and plants in reference to the theory of evolution of living forms. 2 ed. London, UK, Edward Bumpus, 5 & 6 Holborn Bars, E.C. 450 p.
- Bishko, CJ. 1952. The peninsular background of Latin American cattle ranching. The Hispanic American Historical Review 32(4): 491-515. Duke University Press.
- Brás, M. 1994. Historical setting en Tim Merrill. In Nicaragua: A country study (en línea). Washington, D.C., Library of Congress,

- Federal Research Division. Consultado 13 de mayo del 2013. Disponible en <http://countrystudies.us/nicaragua/>
- Cantera (Centro de Comunicación y Educación Popular). 2006. Belén: sus historias y protagonistas. Managua, Nicaragua. 179 p.
- Crawley, E. 1979. Dictators never die: A portrait of Nicaragua and the Somoza dynasty. London, UK, Hurst & Co. 180 p.
- Edelman, M. 1995. Rethinking the hamburger thesis: Deforestation and the crisis of Central America's beef exports. In Painter, M; Durham, WH. (Eds.). The social causes of environmental destruction in Latin America. Ann Arbor, MI, The University of Michigan Press. p. 25-62.
- Faber, D. 1993. Environment under fire: Imperialism and the ecological crisis in Central America. New York, NY, Monthly Review Press. p. 301.
- García Peláez, F. 1943-1944. Memorias para la historia del Antiguo Reino de Guatemala. 2 ed. Guatemala, Tipografía Nacional. 322 p.
- GISD (Global Invasive Species Database). 2006. *Urochloa maxima* (grass) (en línea). Consultado 12 de abril del 2012. Disponible en <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=398&fr=1&sts=sss&lang=EN>
- GISD (Global Invasive Species Database). 2010. *Urochloa mutica* (grass) (en línea). Consultado 12 de abril del 2012. Disponible en <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=1600&fr=1&sts=sss&lang=EN>
- Gobat, M. 2005. Confronting the American Dream: Nicaragua under U.S. Imperial Rule. Durham, NC, Duke University Press. 373 p.
- Harrison, LE; Huntington, SP. 2000. Culture matters: How values shape human progress. Basic Books. 348 p.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation in Central America in the 1980s and 1990s: A policy perspective. Jakarta, Indonesia, Cifor. 88 p.
- Levard, L; Marín, Y. 2000. La problemática técnica a la intervención de los organismos que trabajan en el fomento tecnológico en el trópico seco de Nicaragua. Encuentro 32(53):11-18.
- MacLeod, MJ. 1973. Spanish Central America: A socioeconomic history 1520-1720. Berkeley, CA, University of California Press. 554 p.
- Midinra (Ministerio de Desarrollo Agropecuario y Reforma Agraria). 1984. Documento de estudio sobre el desarrollo del sector agropecuario nicaragüense. Managua, Nicaragua. 60 p.
- Miller, SW. 2007. An environmental history of Latin America. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press. 257 p.
- Myers, N. 1981. The Hamburger Connection: How Central America's forests become North America's hamburgers. *Ambio* 10(1):2-8.
- Neira, O. 1988. La reforma agraria nicaragüense: balance de ocho años. In Nicaragua: cambios estructurales y políticas económicas 1979-1987. Managua, Nicaragua, INIES, Centro de Documentación. p. 63-69.
- Newson, LA. 1987. Indian survival in Colonial Nicaragua. Norman, OK, University of Oklahoma Press. 466 p.
- Ortega, M. 1983. La participación obrera en la gestión de las empresas agropecuarias del APP (la experiencia en la Revolución Popular Sandinista). Ensayo presentado al XV Congreso Latinoamericano de Sociología Simón Bolívar. Managua, Nicaragua. 19 p.
- Painter, M. 1995. Anthropological perspectives on environmental destruction. In Painter, M; Durham, WH. (Eds.). The social causes of environmental destruction in Latin America. Ann Arbor, MI, The University of Michigan Press. p. 1-24.
- Palacio Castañeda, GA. 2006. Fiebre de tierra caliente: una historia ambiental de Colombia 1850-1930. Bogotá, Colombia, ILSA. 183 p.
- Radell, DR. 1969. Historical geography of Western Nicaragua: The spheres of influence of León, Granada, and Managua, 1519-1965. Doctoral dissertation. University of California, Berkeley. 590 p.
- Remesal, FA. 1964. Historia general de las Indias Occidentales y particular de la Gobernación de Chiapa y Guatemala. In Sáenz de Santa María, C. (Ed). Biblioteca de Autores Españoles. Madrid, Ediciones Atlas. 903 p.
- Rouse, JE. 1977. The Criollo: Spanish cattle in the Americas. Norman, OK, University of Oklahoma Press. 303 p.
- Sequeira Ruiz, WG. 1985. La hacienda ganadera en Guanacaste: aspectos económicos y sociales 1850-1900. San José, Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia. 220 p.
- Squier, EG. 1860. Nicaragua: Its people, scenery, monuments, resources, condition, and proposed canal. New York, NY, Harper & Brothers. 691 p.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The Hamburger Connection Hangover: Cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p. (Serie Técnica. Informe Técnico 313).
- USDA (United States Department of Agriculture). 2000. Taxon: *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf (en línea). Germplasm Resources Information Network (GRIN) Beltsville, MD, National Germplasm Resources Laboratory. Consultado 12 de abril del 2012. Disponible en <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?19550>
- Valdivia Hidalgo, E. 1968. Fomento de la ganadería en Nicaragua a través de las cooperativas. Disertación. Managua, Nicaragua, Escuela Nacional de Agricultura y Ganadería. 49 p.
- Wheelock, J; Carrión, L. 1984. Apuntes sobre el desarrollo económico y social de Nicaragua. Managua, Nicaragua, Secretaría Nacional de Propaganda y Educación Política del FSLN. Documento de Estudio sobre el Desarrollo del Sector Agropecuario Nicaragüense. p. 1-9.

Composición florística de pastizales en Muy Muy y Rivas, Nicaragua

Julio Morales¹, Graciela M. Rusch¹, Fernando Casanoves², Lars Söderström³, Lester Rocha⁴

RESUMEN

A pesar de ser ecosistemas manejados, surgidos de la transformación de ambientes naturales, los pastizales compuestos por especies nativas y exóticas pueden tener un papel importante en la conservación de la biodiversidad y en la prestación de servicios ecosistémicos; entre ellos, la producción de forraje, la polinización y el control biológico. El presente estudio evalúa y compara la riqueza, similitud florística y distribución de plantas en pastizales seminaturales de dos zonas ganaderas: Central y Pacífico Sur de Nicaragua (Muy Muy y Rivas, respectivamente). En un total de 123 parcelas (2460 m²) se encontraron 326 especies: 184 en Muy Muy y 240 en Rivas; 98 especies aparecieron en ambas zonas. Posiblemente, la riqueza de especies registradas en Rivas fue mayor debido a que se cubrió una extensión de muestreo mayor, ya que las parcelas estuvieron más dispersas. Las familias más diversas fueron Fabaceae y Poaceae, con 53 y 39 especies respectivamente. En cuanto al hábito de crecimiento, se registraron 212 especies de hierbas, 39 de arbustos, 63 de árboles y 12 de plantas de hábito escandente. En total, se encontraron 26 especies exóticas: 19 en Muy Muy y 17 en Rivas, 8 de ellas se distribuyeron exclusivamente en Muy Muy y 6 en Rivas. La composición florística de las dos zonas es muy similar cuando se comparan las listas totales de especies índices de similitud de Jaccard (75%) y de Sørensen (85%). El análisis de componentes principales, basado en la composición florística de las parcelas, diferencia muy bien las dos zonas. Los pastos nativos que dominan los pastizales en Rivas son *Axonopus centrale*, *Setaria parvifolia*, *Paspalum convexum* y *P. paniculatum*, mientras que en Muy Muy las especies dominantes son *Paspalum notatum* y *P. conjugatum*. Las cinco especies exóticas más frecuentes estuvieron asociadas a la zona de Rivas. Estos patrones podrían tener su origen en diferencias edáficas y de historia de manejo de las dos zonas.

Palabras claves: Pastizales seminaturales, sistemas silvopastoriles, riqueza de especies.

ABSTRACT

Grasslands species composition in Muy Muy and Rivas, Nicaragua.

Grasslands composed by native and exotic species are managed ecosystems, originated from the transformation of natural systems. Even though, these systems can play an important role in the conservation of biodiversity and the provision of ecosystem services such as pollination, forage production and biological pest control. We evaluated richness, floristic similarity and patterns of plant distribution in silvopastoral systems located in two zones of Central and South Pacific Nicaragua (Muy Muy and Rivas, respectively). In 123 plots (2460 m²), the number of species reported was 326: 184 in Muy Muy and 240 in Rivas; 98 species appeared in both zones. Possibly, species richness in Rivas was higher because the plots were more scattered. The most diverse families were Fabaceae and Poaceae with 53 and 39 species, respectively. In relation to the growth habit, 212 herb, 39 bush, 63 tree and 12 scandent species were found. The total number of introduced species was 26: 19 in Muy Muy and 17 in Rivas; from those, 8 species were exclusively found in Muy Muy and 6 in Rivas. Based on the complete lists of species, the floristic composition of the two zones was similar Jaccard similarity index (75%) and Sørensen index (85%). The principal component analysis based on the sampling plots species composition, clearly differentiated the two zones. The dominating native grasses in Rivas were *Axonopus centrale*, *Setaria parvifolia*, *Paspalum convexum* and *P. paniculatum*, while in Muy Muy the dominant species were *Paspalum notatum* and *P. conjugatum*. The five most frequent exotic species were associated with Rivas. These patterns could be due to differences both in soils and management history.

Keywords: semi-natural pastures, silvopastoral systems, species diversity.

1 Norwegian Institute for Nature Research (NINA), Trondheim, Norway; correo electrónico: graciela.rusch@nina.no; quinchobarrilete@yahoo.com

2 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica; correo electrónico: casanoves@catie.ac.cr

3 Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway; correo electrónico: lars.soderstrom@bio.ntnu.no

4 Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), Managua, Nicaragua; correo electrónico: lesterrocha@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los pastizales en Centroamérica son sistemas seminaturales que se han desarrollado luego de la tala del bosque para la extracción de madera y/o el establecimiento de potreros para la producción ganadera. Estas comunidades de plantas están formadas, en buena parte, por especies herbáceas nativas de amplia distribución geográfica que ocupan sitios sin cobertura arbórea, y ocurren frecuentemente en combinaciones con árboles en los sistemas silvopastoriles de la región. También existen algunas especies herbáceas exóticas de gramíneas que con mayor o menor éxito han sido introducidas para mejorar la producción de pasto para el ganado (Ospina *et al.* 2012), además de malezas asociadas a cultivos.

Aunque los pastizales forman parte del paisaje productivo, también pueden cumplir un papel importante en la conservación de la biodiversidad (Landsberg *et al.* 2003, Hoehn *et al.* 2010). Según Pimentel *et al.* (1992), la mayor parte de la diversidad biológica del mundo se encuentra en sistemas manejados por el hombre (agricultura y extracción maderera), ya que estas áreas ocupan el 95% de los ecosistemas terrestres, mientras que las áreas protegidas ocupan solamente el 3,2%. Con la gran extensión de área cubierta por tierras manejadas, su importancia es crítica para la conservación de la diversidad y para mantener funciones ecológicas de importancia para el hombre. Sin embargo, es necesario aceptar que incluso los ecosistemas productivos más diversos sostienen menos especies nativas que los hábitats naturales desplazados (Murgueitio y Calle 1998).

Aunque la ganadería se señala como una causa directa de la extinción de especies en la región de América tropical (Murgueitio y Calle 1998), algunos sistemas silvopastoriles, como la vegetación seminatural, los policultivos, potreros arborizados y potreros en sucesión ayudan a elevar el número de especies en los agroecosistemas (Hoehn *et al.* 2010). Asimismo, la diversificación de hábitats y microhábitats, el uso de cercas vivas y el mejoramiento de la conectividad entre parches promueven la diversidad de plantas y de los animales asociados (Westman 1990). El aumento de la biodiversidad también puede tener consecuencias positivas en la prestación de servicios ecosistémicos, como la polinización (Tschardt *et al.* 2002), la producción de forraje (Ospina *et al.* 2012) y el control biológico de plagas.

La introducción indiscriminada de pastos exóticos es una amenaza para la flora de los pastizales nativos (Rua

et al. 2010) y también pueden ser causa de problemas como la erosión del suelo y la pérdida de la productividad del sistema, si las especies introducidas no están adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas y si el pastoreo no se maneja en forma adecuada. A pesar de la alta diversidad de especies de gramas nativas, la gran mayoría de especies utilizadas como forraje provienen de África (Jank *et al.* 2011). Según la base de datos de plantas tropicales del Missouri Botanical Garden (W3 Tropicos-MBG), las especies de pastizal nativas de Centroamérica son, en general, abundantes y ampliamente distribuidas. Algunas de estas especies son usadas como forrajeras (Rua *et al.* 2010). Por estar adaptadas a las condiciones locales, estas especies son también un recurso genético con potencial para el futuro. Por ello, como primer paso es necesario conocer la diversidad de estas comunidades de plantas; además, se debe mejorar el manejo de los pastizales seminaturales y proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados.

La composición florística de los potreros de la zona de Muy Muy, Nicaragua, ya ha sido descrita por Ospina *et al.* (2009) y Esquivel (2005), en tanto que la de Rivas fue descrita por Sánchez *et al.* (2005). Con este estudio se pretende estimar y comparar la riqueza y la similitud florística de plantas en pastizales seminaturales e identificar sus patrones de distribución en esas dos zonas de producción ganadera en Nicaragua: Muy Muy y Rivas.

Las zonas de estudio

El área de estudio en Rivas se localizó en el municipio de Belén, zona ganadera del Pacífico nicaragüense (Magfor 2001). La altitud varía entre 80-200 msnm y la precipitación promedio es de 1400 mm anuales (Inifom 2005). La zona de Muy Muy se encuentra en la zona ganadera del centro de Nicaragua, departamento de Matagalpa (Magfor 2001). La altitud varía entre 200-800 msnm y la precipitación media anual es de 1800 a 2000 mm (Ospina 2010). Ambas áreas de estudio se ubican en el bosque tropical seco (Bullock *et al.* 1995). Los usos dominantes de la tierra en ambos sitios son la ganadería y la agricultura, aunque con ciertas diferencias en intensidad de uso y manejo (Ospina 2005 y Saucedo 2010).

Muestreo

A partir de imágenes satelitales, se trazaron 40 transectos de 500 metros de largo. En cada transecto se establecieron cinco parcelas de 20 x 20 m², una parcela cada 100 metros. No fue posible muestrear 77 de las parcelas debido a dificultades de acceso o porque se ubicaron en un tipo de uso del suelo no evaluado en este

estudio. En cada una de las 123 parcelas evaluadas se determinaron las especies presentes, el tipo de hábitat, la altitud y la localización geográfica. La fase de campo abarcó la época lluviosa de junio a agosto 2011 y de agosto a septiembre 2012.

Análisis de datos

Se estimó la riqueza de especies esperada por medio de los índices de Jackknife y Chao (Álvarez et ál 2004). El índice de Jackknife de primer orden se basa en las especies que aparecen una sola vez y estima la riqueza esperada por medio del remuestreo, mientras que el de Chao considera la relación entre las especies únicas y las duplicadas, sin aplicar remuestreo. La riqueza de especies de las dos localidades se comparó por medio de curvas de acumulación de especies. Este método permite comparar regiones parecidas en extensión y características biológicas, aunque con diferentes tamaños de muestra y también permite evaluar la efectividad del esfuerzo de muestreo. Los índices de Jaccard y Sørensen se utilizaron para estimar la similitud florística de las dos regiones (Álvarez et ál 2006). Ambos índices pueden tomar valores entre 1 y 0, en donde el valor 1 significa que la composición de los sitios comparados es exactamente igual y 0 significa que no tienen ninguna especie en común.

Para evaluar las diferencias de composición florística entre las dos zonas de estudio, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de las listas de especies registradas en las 123 parcelas. Esta técnica de análisis multivariado permitió explorar las relaciones entre parcelas según su composición. El gráfico que se obtiene permite descubrir relaciones entre las variables (Di Rienzo *et al.* 2011): las parcelas próximas en el diagrama tienen una composición más semejante que las distantes. Las especies más próximas son las que distinguen la composición del sitio. Para este análisis se utilizaron solamente las especies que aparecieron al menos nueve veces en el muestreo (66 especies).

Los análisis de riqueza, las curvas de acumulación de especies y los índices de similitud se realizaron con el programa R (R Foundation for Statistical Computing 2008). El ACP se condujo con el programa InfoStat 2011 (Di Rienzo *et al.* 2011).

La mayor parte de los especímenes botánicos fueron identificados por el primer autor, por medio de las claves de la Flora de Nicaragua y de la Flora Mesoamericana (W3 Tropicos-MBG). José Linares

del Herbario CURLA de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, especialista en la familia Fabaceae, asistió en la identificación de algunas especies de esta familia. Gerrit Davidsen del MBG, curador de la familia Poaceae, supervisó la identificación de algunas especies de esta familia. Los especímenes de la familia Araceae fueron identificados por Thomas Croat, curador de esta familia del MBG. Finalmente Douglas Stevens del MBG, editor de la Flora de Nicaragua, corroboró información sobre los registros de algunas de las especies. No se logró establecer la identidad genérica de 24 muestras; a seis de estas no se les asignó ninguna categoría taxonómica y 18 se identificaron a nivel de familia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riqueza de especies

El total de especies colectadas fue de 326 (Cuadro 1): 184 en Muy Muy y 240 en Rivas; 98 especies aparecieron en ambos sitios. La diversidad de especies por forma de crecimiento se presenta en el Cuadro 2. Otros estudios florísticos en ambientes de pastizal de la región reportan menor diversidad de plantas: Maciel *et al.* (2008), por ejemplo, reportan 45 especies; Hummel (2000), 109 especies y Somarriba (1988), 37 especies. Estas diferencias pueden atribuirse a que en estos estudios se levantaron datos del estrato herbáceo solamente y que las unidades de muestreo eran más pequeñas: 0,5 x 0,86 m para el primer estudio y 0,50 m² para los dos últimos. Lira-Noriega *et al.* (2007) condujeron un estudio en el que se encontraron 214 especies tomando en cuenta todos los estratos (plántulas de árboles) de la vegetación en parcelas de 2 x 2 m.

Ospina *et al.* (2009) y Esquivel (2005) encontraron resultados semejantes en la zona de estudio. Con muestreos en las épocas seca y lluviosa, Ospina *et al.* (2009) registró 185 especies de arbustos, hierbas y plántulas de árboles en Muy Muy, en tanto que Esquivel (2005) encontró 72 especies de árboles y arbustos. Para la zona de Rivas no se encontraron estudios en donde se hayan registrado especies de herbáceas, pero en un estudio enfocado en las comunidades arbóreas, Sánchez *et al.* (2005) registró 146 especies de árboles en unidades muestrales de 0,1 ha (48 parcelas).

En el presente estudio, las familias más diversas, tanto en Rivas como en Muy Muy, fueron Fabaceae y Poaceae con 53 y 39 especies respectivamente, seguidas por Rubiaceae con 25, Euphorbiaceae con 20 y Cyperaceae y Asteraceae, cada una con 18 especies. La alta diversi-

dad de Poaceae y Fabaceae era esperable ya que estas familias son generalmente dominantes en ambientes abiertos como orillas de carreteras, sitios perturbados, sabanas y pastizales (Jacobs *et al.* 1999, Graham y Vance 2003, Lira-Noriega *et al.* 2007). La mayor riqueza de especies que el hombre ha domesticado proviene también de estas dos familias. Los resultados coinciden con lo encontrado por Ospina *et al.* (2009), tanto en fami-

lias encontradas como en el número de especies. Para Sánchez *et al.* (2005) la familia más diversa en árboles fue Fabaceae *sensu lato* (es decir, incluyendo en una sola familia las Fabaceae, Caesalpinaceae y Mimosaceae) con 36 especies. Esta familia también fue la más rica en especies en el estudio conducido por Esquivel (2005). La cantidad de especies según origen se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 1. Listado de especies encontradas en los sitios evaluados

Especie	Familia	Hábitat	Nativa/exótica	Región*
<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd.	Fabaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Fabaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Acalypha alopecuroidea</i> Jacq.	Euphorbiaceae	Hierba	N	M/R
<i>Acalypha</i> sp.	Euphorbiaceae	Hierba	N	M
<i>Acalypha</i> sp. 2	Euphorbiaceae	Hierba	N	R
<i>Acalypha</i> sp. 3	Euphorbiaceae	Hierba	N	R
<i>Achyranthes aspera</i> L.	Amaranthaceae	Hierba	E	M
<i>Acrocomia mexicana</i> Karw. ex mart.	Arecaceae	Árbol	N	R
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Asteraceae	Hierba	N	M
<i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.) DC.	Fabaceae	Hierba	E	R
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Amaranthaceae	Hierba	N	M/R
<i>Amphilophium paniculatum</i> var. <i>molle</i> (Schltdl. & Cham.) Standl.	Bignoniaceae	Scand	N	R
<i>Anacardium excelsum</i> (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels	Anacardiaceae	Árbol	N	M
<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.	Fabaceae	Árbol	N	R
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth. (?)	Poaceae	Hierba	E	R
<i>Anemia</i> sp.	Schizaeaceae	Hierba	N	R
<i>Antheophora hermaphrodita</i> (L.) Kuntze	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Arachis pintoii</i> Krapov. & W.C. Greg	Fabaceae	Hierba	E	M
<i>Ardisia</i> sp.	Myrsinaceae	Árbol	N	R
<i>Asclepias curassavica</i> L.	Asclepiadaceae	Hierba	N	M/R
<i>Astrocarium alatum</i> H.F. Loomis, J. Wash	Arecaceae	Árbol	N	M
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Anacardiaceae	Árbol	N	R
<i>Axonopus centralis</i> Chase	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P. Beauv.	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Bactris</i> sp.	Arecaceae	Árbol	N	R
<i>Baltimora recta</i> L.	Asteraceae	Hierba	N	M/R
<i>Bauhinia pauletia</i> Pers.	Fabaceae	Árbol	N	R
<i>Bauhinia</i> sp.	Fabaceae	Scand	N	M/R
<i>Bernardia sidoides</i> (Klotzsc) Müll. Arg.	Euphorbiaceae	Hierba	N	M/R
<i>Borreria prostrata</i> (Aubl.) Miq.	Rubiaceae	Hierba	N	M
<i>Borreria remota</i> (Lam.) Bacigalupo & E.L. Cabral	Rubiaceae	Hierba	N	M
<i>Bromelia pinguin</i> L.	Bromeliaceae	Hierba	N	M/R
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Burseraceae	Árbol	N	M
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpigiaceae	Árbol	N	M
<i>Byttneria aculeata</i> (Jacq.) Jacq.	Sterculiaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Calathea lutea</i> Schult.	Marantaceae	Arbusto	N	M
<i>Calea urticifolia</i> (mill.) DC.	Asteraceae	Hierba	N	M
<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	Fabaceae	Hierba	N	M/R
<i>Calycophyllum candidissimum</i> (Vahl) DC.	Rubiaceae	Árbol	N	M/R
<i>Caperonia pallustris</i> (L.) A. St.-Hil.	Euphorbiaceae	Hierba	N	M/R

Especie	Familia	Hábitat	Nativa/exótica	Región*
<i>Cascabela thevetia</i> (L.) Lippold	Apocynaceae	Árbol	?	M
<i>Casearia corymbosa</i> Kunth in Humb.	Flacourtiaceae	Árbol	N	R
<i>Casearia silvestris</i> Sw.	Flacourtiaceae	Árbol	N	R
<i>Cassia grandis</i> L. f.	Fabaceae	Árbol	N	M/R
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	Árbol	N	M
<i>Cenchrus pilosus</i> Kunth	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Centrosema cf. molle</i>	Fabaceae	Hierba	N	M/R
<i>Centrosema sagittatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Brandegee	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Chamaecrista nictitans</i> (L.) Moench	Fabaceae	Hierba	N	M/R
<i>Chamaesyce hirta</i> (L.) Millsp.	Euphorbiaceae	Hierba	N	M/R
<i>Chamaesyce prostrata</i> (Aiton) Small	Euphorbiaceae	Hierba	N	M/R
<i>Chomelia spinosa</i> Jacq.	Rubiaceae	Arbusto	N	R
<i>Cissus erosa</i> Rich.	Vitaceae	Hierba	N	M
<i>Cissus microcarpa</i> Vahl	Vitaceae	Hierba	N	R
<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E. Jarvis	Vitaceae	Hierba	N	M/R
<i>Cleome viscosa</i> L.	Cleomaceae	Hierba	N	R
<i>Coccocypselum hirsutum</i> Bartl. ex DC.	Rubiaceae	Hierba	N	M
<i>Coccoloba</i> sp.	Polygonaceae	Árbol	N	R
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Cochlospermaceae	Árbol	N	R
<i>Combretum fruticosum</i> (Loefl.) Stuntz	Combretaceae	Arbusto	N	M
<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	Commelinaceae	Hierba	N	M/R
<i>Commelina</i> sp.	Commelinaceae	Hierba	N	R
<i>Conostegia subcrustulata</i> (Beurl.) Triana	Melastomataceae	Arbusto	N	M
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Boraginaceae	Árbol	N	M/R
<i>Cordia bullata</i> (L.) Roem. & Schult.	Boraginaceae	Árbol	N	R
<i>Cordia collococca</i> L.	Boraginaceae	Árbol	N	R
<i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roem. & Schult.	Boraginaceae	Árbol	N	R
<i>Cordia dentata</i> Poir.	Boraginaceae	Árbol	N	R
<i>Cosmos caudatus</i> Kunth	Asteraceae	Hierba	N	R
<i>Couroupita nicaraguensis</i> DC.	Lecythidaceae	Árbol	N	R
<i>Crescentia alata</i> Kunth	Bignoniaceae	Árbol	N	R
<i>Crotalaria retusa</i> L.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Crotalaria sagittalis</i> L.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Croton argenteus</i> L.	Euphorbiaceae	Hierba	N	R
<i>Croton hirtus</i> L'Hér.	Euphorbiaceae	Hierba	N	R
<i>Croton lobatus</i> L.	Euphorbiaceae	Hierba	N	M/R
<i>Cucumis anguria</i> L.	Cucurbitaceae	Hierba	E	R
<i>Cuphea</i> sp.	Lythraceae	Hierba	N	M/R
<i>Curatella americana</i> L.	Dilleniaceae	Árbol	N	M/R
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Poaceae	Hierba	E	M/R
<i>Cynodon</i> sp.	Poaceae	Hierba	E	M
<i>Cyperus digitatus</i> Roxb.	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Cyperus iria</i> L.	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Cyperus laxus</i> Lam.	Cyperaceae	Hierba	N	M
<i>Cyperus luzulae</i> (L.) Rottb. ex Retz.	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	Hierba	E	M/R
<i>Cyperus</i> sp.	Cyperaceae	Hierba	N	M
<i>Cyperus</i> sp. 2	Cyperaceae	Hierba	N	R
<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	Cyperaceae	Hierba	N	R
<i>Cyperus tenerrimus</i> Presl & C. Presl in C. Presl	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	Poaceae	Hierba	E	R
<i>Dalbergia chontalensis</i> Standl. & L.O. Williams	Fabaceae	Arbusto	N	R

Especie	Familia	Hábitat	Nativa/exótica	Región*
<i>Dalbergia</i> sp.	Fabaceae	Scand	N	R
<i>Dalechampia scandens</i> L.	Euphorbiaceae	Scand	N	R
<i>Davilia</i> sp.	Dilleniaceae	Scand	N	R
<i>Desmodium canum</i> Schinz & Thell.	Fabaceae	Hierba	N	M/R
<i>Desmodium</i> desconocido	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Desmodium distortum</i> (Aubl.) J.F. macbr.	Fabaceae	Hierba	N	M/R
<i>Desmodium glabrum</i> (mill.) DC.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Desmodium procumbens</i> (mill.) Hitchc. var. <i>procumbens</i>	Fabaceae	Hierba	N	M/R
<i>Desmodium procumbens</i> var. <i>transversum</i> (B.L. Rob. & Greenm.) B.G. Schub.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Desmodium</i> sp.	Fabaceae	Hierba	N	M
<i>Desmodium</i> sp. 2	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Desmodium</i> sp. 3	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Desmodium triflorum</i> (L.) DC.	Fabaceae	Hierba	N	M/R
<i>Dichanthium annulatum</i> (Forssk.) Stapf	Poaceae	Hierba	E	M/R
<i>Digitaria bicornis</i> (Lam.) Roem. & Schult.	Poaceae	Hierba	E	M/R
<i>Diodea teres</i> Walter	Rubiaceae	Hierba	N	R
<i>Diospyros morenoi</i> A. Pool	Ebenaceae	Árbol	N	R
<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M. Sousa	Fabaceae	Árbol	N	R
<i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd. ex Roem. & Schult.	Caryophyllaceae	Hierba	N	M
<i>Dyschoriste quadrangularis</i> (Oerst.) Kuntze	Acanthaceae	Hierba	N	M/R
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	Poaceae	Hierba	E	M/R
<i>Echinochloa</i> sp.	Poaceae	Hierba	?	R
<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	Asteraceae	Hierba	N	M/R
<i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roem. & Schult.	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Eleocharis</i> sp. 2	Cyperaceae	Hierba	N	R
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Poaceae	Hierba	E	M/R
<i>Elytraria imbricata</i> (Vahl) Pers.	Acanthaceae	Hierba	N	R
<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	Asteraceae	Hierba	N	R
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Fabaceae	Árbol	N	M/R
<i>Euphorbia</i> sp. 2	Euphorbiaceae	Hierba	N	R
<i>Euphorbia graminea</i> Jacq.	Euphorbiaceae	Hierba	N	M
<i>Euphorbia oerstediana</i> (Klotzsch & Garcke) Boiss	Euphorbiaceae	Hierba	N	R
<i>Evolvulus numularius</i> (L.) L.	Convolvulaceae	Hierba	N	M/R
<i>Fernaldia pandurata</i> (A. DC.) Woodson	Apocynaceae	Hierba	N	R
<i>Ficus</i> sp.	Moraceae	Árbol	N	M
<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Galactia</i> sp.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	Árbol	N	R
<i>Grajalesia</i> (?)	Nyctaginaceae	Arbusto	N	R
<i>Gronovia scandens</i> L.	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae	Árbol	N	M/R
<i>Guettarda macrosperma</i> Donn. Sm.	Rubiaceae	Árbol	N	M
<i>Hackelochloa granularis</i> (L.) Kuntze	Poaceae	Hierba	E	R
<i>Hamelia patens</i> Jacq.	Rubiaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Helicteres</i> sp.	Malvaceae	Arbusto	N	M
<i>Heliotropium indicum</i> L.	Boraginaceae	Hierba	N	M/R
<i>Hylocereus undatus</i> (Haw.) Britton & Rose	Cactaceae	Scand	N	R
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae	Árbol	N	M
<i>Hymenocallis littoralis</i> (Jacq.) Salisb	Amaryllidaceae	Hierba	N	M/R
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees) Stapf	Poaceae	Hierba	E	M/R
<i>Hyptis capitata</i> Jacq.	Lamiaceae	Hierba	N	M/R

Especie	Familia	Hábitat	Nativa/exótica	Región*
<i>Hyptis pectinata</i> (L.) Poit.	Lamiaceae	Hierba	N	M/R
<i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Inga vera</i> subsp. <i>Vera</i>	Fabaceae	Árbol	N	M
<i>Ipomoea alba</i> L.	Convolvulaceae	Scand	N	M
<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.,	Solanaceae	Hierba	N	M/R
<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth.	Convolvulaceae	Scand	N	R
<i>Ischaemum</i> cf. <i>timorensis</i>	Poaceae	Hierba	E	M
<i>Jacquinia nervosa</i> C. Presl	Teophrastaceae	Arbusto	N	R
<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	Euphorbiaceae	Arbusto	N	R
<i>Justicia carthagenensis</i> Jacq.	Acanthaceae	Hierba	N	R
<i>Justicia</i> sp.	Acanthaceae	Hierba	N	R
<i>Karwinskia calderonii</i> Standl.	Rhamnaceae	Árbol	N	R
<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	Cyperaceae	Hierba	N	M
<i>Kyllinga odorata</i> Rottb.	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Kyllinga pumila</i> Michx.	Cyperaceae	Hierba	N	M
<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	Arbusto	E	M/R
<i>Lantana trifolia</i> L.	Verbenaceae	Arbusto	N	R
<i>Lasiacis divaricata</i> L. (A.) Hitchc.	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Lonchocarpus minimiflorus</i> Donn. Sm.	Fabaceae	Árbol	N	M
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven	Onagraceae	Hierba	N	M/R
<i>Luffa operculata</i> (L.) Cogn.	Cucurbitaceae	Hierba	N	R
<i>Lygodium venustum</i> Sw.	Schizaeaceae	Hierba	N	M/R
<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J.F. Macbr.	Fabaceae	Árbol	N	R
<i>Malachra alceifolia</i> Jacq.	Malvaceae	Hierba	N	M/R
<i>Malachra radiata</i> (L.) L.	Malvaceae	Arbusto		R
<i>Malpighia glabra</i> L.	Malpigiaceae	Hierba	N	R
<i>Malvaviscus arboreus</i> Cav.	Malvaceae	Arbusto	N	R
<i>Maranta arundinacea</i> L.	Marantaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Martynia annua</i> L.	Martyniaceae	Hierba	N	R
<i>Melanthera nivea</i> (L.) Small	Asteraceae	Hierba	N	R
<i>Melochia pyramidata</i> L. var. <i>pyramidata</i>	Malvaceae	Arbusto	N	R
<i>Melochia</i> sp	Malvaceae	Hierba	N	M
<i>Melochia tomentosa</i> L.	Malvaceae	Hierba	N	M
<i>Melothria pendula</i> L.	Cucurbitaceae	Scand	N	R
<i>Milleria quinqueflora</i> L.	Asteraceae	Hierba	N	R
<i>Mimosa albida</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Fabaceae	Arbusto	N	M
<i>Mimosa pigra</i> L.	Fabaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Mimosa pudica</i> L.	Fabaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Mimosa</i> sp.	Fabaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Momordica charantia</i> L.	Cucurbitaceae	Hierba	E	M
<i>Morinda</i> sp.	Rubiaceae	Árbol	N	R
<i>Myrospermum frutescens</i> Jacq.	Fabaceae	Árbol	N	R
<i>Neomaria variegata</i> (M. Martens & Galeotti) Henrich & Goldblatt	Rubiaceae	Hierba	N	R
<i>Ocimum campechianum</i> Mill.	Lamiaceae	Hierba	N	R
<i>Olyra latifolia</i> L.	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Oplismenus burmannii</i> var. <i>nudicaulis</i> (Vasey) McVaugh	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Oryza latifolia</i> Desv.	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxalidaceae	Hierba	E	M
<i>Oxalis frutescens</i> subsp. <i>angustifolia</i> (Kunth) Lourteig	Oxalidaceae	Hierba	N	R
<i>Pachira</i> sp.	Malvaceae	Árbol	N	M
<i>Palicourea</i> sp.	Rubiaceae	Arbusto	N	M
<i>Panicum</i> sp.	Poaceae	Hierba	N	R

Especie	Familia	Hábitat	Nativa/exótica	Región*
<i>Paspalum centrale</i> Chase	Poaceae	Hierba	N	M
<i>Paspalum conjugatum</i> P. J. Bergius	Poaceae	Hierba	N	M
<i>Paspalum plicatulum</i> Michx.	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Paspalum convexum</i> Humb. & Bonpl. ex Flüggé	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Paspalum notatum</i> A. H. Liogier ex Flüggé	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Paspalum paniculatum</i> L.	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Paspalum virgatum</i> L.	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Passiflora biflora</i> Lam.	Passifloraceae	Scand	N	R
<i>Passiflora filipes</i> Benth.	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Passiflora foetida</i> var. <i>gossypifolia</i> (Desv. ex Ham.) Mast.	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Passiflora</i> sp.	Passifloraceae	Hierba	N	M
<i>Pectis capillipes</i> (Benth.) Hemsl.	Asteraceae	Hierba	N	R
<i>Petiveria alliacea</i> L.	Phytolacaceae	Hierba	N	R
<i>Phaseolus</i> sp.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Phyllanthus caroliniensis</i> Walter subsp. <i>Caroliniensis</i>	Euphorbiaceae	Hierba	N	M/R
<i>Phyllanthus</i> sp.	Euphorbiaceae	Hierba	N	R
<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	Hierba	N	M
<i>Physalis pubescens</i> L.	Solanaceae	Hierba	N	R
<i>Physalis</i> sp.	Solanaceae	Hierba	N	R
<i>Pilea</i> sp.	Urticaceae	Hierba	N	M
<i>Piper amalago</i> L.	Piperaceae	Arbusto	N	R
<i>Piper peltatum</i> L.	Piperaceae	Arbusto	N	M
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Fabaceae	Árbol	N	R
<i>Pithecellobium oblongum</i> Benth	Fabaceae	Árbol	N	M
<i>Platymiscium dimorphandrum</i> Donn. Sm.	Fabaceae	Árbol	N	M
<i>Polygala</i> sp.	Polygalaceae	Hierba	N	M
<i>Polygala violacea</i> Aubl.	Polygalaceae	Hierba	N	R
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae	Hierba		M/R
<i>Priva lappulaceae</i> (L.) Pers.	Verbenaceae	Hierba	N	M/R
<i>Pseudoabutilon umbellatum</i> (L.) Fryxell	Malvaceae	Hierba	N	M
<i>Pseudoelephantopus spicatus</i> (B. Juss. ex Aubl.) C.F. Baker	Asteraceae	Hierba	N	M/R
<i>Psidium friedrichsthalianum</i> (O. Berg) Nied.	Myrtaceae	Árbol	N	M/R
<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	Árbol	N	M/R
<i>Psidium guineense</i> Sw.	Myrtaceae	Arbusto	N	R
<i>Psychotria pubescens</i> Sw	Rubiaceae	Arbusto	N	M
<i>Psychotria</i> sp.	Rubiaceae	Arbusto	N	R
<i>Quassia amara</i> L.	Simaroubaceae	Árbol	N	R
<i>Randia</i> sp.	Rubiaceae	Árbol	N	R
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Brassicaceae	Hierba	E	M
<i>Rauvolfia tetraphylla</i> L.	Apocynaceae	Arbusto	N	R
<i>Rhynchosia minima</i> (L.) DC.	Fabaceae	Hierba	N	M
<i>Rhynchospora nervosa</i> (G. meyer.) T. Koyama	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Rhynchospora</i> sp.	Cyperaceae	Hierba	N	R
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	Arbusto	E	M
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) Clayton	Poaceae	Hierba	E	R
<i>Rubiaceae</i> sp.	Rubiaceae	Hierba	N	R
<i>Ruellia blechum</i> L.	Acanthaceae	Hierba	N	M/R
<i>Ruellia</i> sp.	Acanthaceae	Hierba	N	R
<i>Russelia sarmentosa</i> Jacq.	Scrophulariaceae	Hierba	N	M
<i>Rytidostylis gracilis</i> Hook. & Arn.	Cucurbitaceae	Hierba	N	M/R
<i>Samanea saman</i> (Jacq.) merr.	Fabaceae	Árbol	N	M/R
<i>Sapranthus violaceus</i> (Dunal) Saff.	Annonaceae	Árbol	N	R

Especie	Familia	Hábitat	Nativa/exótica	Región*
<i>Scleria melaleuca</i> Richb. ex Schldtl. & Cham.	Cyperaceae	Hierba	N	M/R
<i>Sclerocarpus phyllocephalus</i> S. F. Blake	Asteraceae	Hierba	N	R
<i>Scoparia dulcis</i> L.	Plantaginaceae	Hierba	N	M
<i>Sellaginella</i> sp.	Sellaginellaceae	Hierba	N	M/R
<i>Semialarium mexicanum</i> (Miers) Mennega	Celastraceae	Árbol	N	R
<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	Arbusto	E	M/R
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	Fabaceae	Arbusto	N	M
<i>Senna skinneri</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	Arbusto	N	M/R
<i>Serjania atrolineata</i> C. Wright	Sapindaceae	Hierba	N	R
<i>Serjania triquetra</i> Radlk.	Sapindaceae	Scand	N	M/R
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguélen	Poaceae	Hierba	N	R
<i>Sida acuta</i> Burm. f.	Malvaceae	Hierba	N	M/R
<i>Sida jussieuana</i> DC.	Malvaceae	Hierba	N	M
<i>Sida linifolia</i> Cav.	Malvaceae	Hierba	N	M
<i>Sida spinosa</i> L.	Malvaceae	Hierba	N	R
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Simaroubaceae	Árbol	N	R
<i>Sloanea</i> sp.	Eleocarpaceae	Árbol	N	R
<i>Smilax spinosa</i> mill.	Smilacaceae	Hierba	N	M/R
<i>Solanum jamaicense</i> mill.	Solanaceae	Arbusto	N	M
<i>Solanum</i> sp.	Solanaceae	Hierba	N	R
<i>Spermacoce tetraquetra</i> A. Rich.	Rubiaceae	Hierba	N	R
<i>Spigelia humboldtiana</i> Cham. & Schldtl.	Loganiaceae	Hierba	N	M/R
<i>Spiracantha cornifolia</i> Kunth.	Asteraceae	Hierba	N	R
<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	Árbol	N	M/R
<i>Sporobolus jacquemontii</i> kunth	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Stachytarpheta frantzii</i> Pol.	Verbenaceae	Hierba	N	M/R
<i>Steinchisma laxum</i> (Sw.) Zuloaga	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Stemmadenia pubescens</i> Benth.	Apocynaceae	Árbol	N	M/R
<i>Stemodia durantifolia</i> (L.) Sw.	Plantaginaceae	Hierba	N	R
<i>Stenorrhynchos lanceolatum</i> (Aubl.) Rch. ex Spreng.	Orchidaceae	Hierba	N	M
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Synedrella nodiflora</i> (L.) Gaertn.	Asteraceae	Hierba	?	M
<i>Syngonium angustatum</i> Schott	Araceae	Hierba	N	M/R
<i>Syngonium podophyllum</i> Schott	Araceae	Hierba	N	M
<i>Tabebuia rosea</i> (L.) Gaertn.	Bignoniaceae	Árbol	N	M/R
<i>Tephrosia vicioides</i> Schldtl.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Thouinidium decandrum</i> (Bonpl.) Radlk.	Sapindaceae	Árbol	N	R
<i>Trichilia americana</i> (Sessé & Moc.) T.D. Penn.	Meliaceae	Árbol	N	M
<i>Tridax procumbens</i> L.	Asteraceae	Hierba	N	M
<i>Triunfeta lupulae</i> L.	Malvaceae	Arbusto	N	M
<i>Turnera pumilea</i> L.	Turneraceae	Hierba	N	R
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	Urticaceae	Arbusto	N	M
<i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D. Webster	Poaceae	Hierba	E	M/R
<i>Urochloa fusca</i> (Sw.) B.F. Hansen & Wunderlin	Poaceae	Hierba	N	M/R
<i>Urochloa</i> sp.	Poaceae	Hierba	E	M
<i>Vigna speciosa</i> (Kunth) Verdc.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Vigna</i> sp.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Vitex gaumerii</i> Greenm.	Verbenaceae	Árbol	N	M
<i>Vitis</i> sp.	Vitaceae	Hierba	N	M
<i>Waltheria indica</i> L.	Malvaceae	Arbusto	?	R
<i>Xanthosoma wendlandi</i> (Schott) Schott	Araceae	Hierba	N	M/R
<i>Xylosma flexuosa</i> (Kunth) Hemsl.	Flacourtiaceae	Árbol	N	M/R

Especie	Familia	Hábitat	Nativa/exótica	Región*
<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lam.	Rutaceae	Árbol	N	M
<i>Zornia reticulata</i> Sm.	Fabaceae	Hierba	N	R
<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) BRTton & millsp.	Flacourtiaceae	Árbol	N	M
Especies no identificadas				
Amaranthaceae	Amaranthaceae	Hierba	N	M
Araceae 2	Araceae	Hierba	N	M
Arbol rubiaceae	Rubiaceae	Árbol	N	M
Asteraceae enredadera	Asteraceae	Hierba	N	M
Bejuco fierro		Scand		R
Crusea 2	Rubiaceae	Hierba	N	M
Crusea barbuda	Rubiaceae	Hierba	N	R
Crusea lisa	Rubiaceae	Hierba	N	R
Crusea peluda	Rubiaceae	Hierba	N	R
Desconocida		Hierba	N	M
Desconocida total		Hierba	N	M
Desconocido 2		Hierba	N	M
Euphorbiaceae	Euphorbiaceae	Hierba	N	R
Flor amarilla pequeña	Asteraceae	Hierba		M/R
Girasolito	Asteraceae	Hierba	N	R
Gramma desconocida	Poaceae	Hierba	N	M
Limonaria vellosa	Asteraceae	Hierba	N	M
Myrsinaceae	Myrsinaceae	Arbusto	N	M/R
Nigua		Hierba	N	R
Redondo 1		Hierba		R
Rubia sp.	Rubiaceae	Hierba	N	M
Spermacoce	Rubiaceae	Hierba	N	R
Spermacoce grande	Rubiaceae	Hierba	N	M
Tropeolaceae sp.	Tropeolaceae	Hierba	N	M

*M: Muy Muy R: Rivas

Anotaciones florísticas

Ospina (2005, 2012) y Zapata (2010) reportaron la presencia de las especies *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Morrone et Zuloaga y *Dichanthium aristatum* (Poir.) C. E. Hubb en la misma zona de estudio. Sin embargo, no fue posible tener acceso a los especímenes colectados por estos estudios; asimismo, estas especies no son reportadas por la Flora de Nicaragua (W3 Tropicos-MBG). Esta obra de tres volúmenes escritos y en constante actualización en línea recoge la información de las bases de datos botánicas más importantes a nivel global y para su elaboración se revisan especímenes nicaragüenses depositados en los herbarios de Nicaragua y del mundo. De hecho, *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster, nombre actual de *B. brizantha*, ha sido

reportada en la región mesoamericana únicamente en Campeche, México, en tanto que el reporte más cercano de *B. humidicola* proviene de Panamá.

El género *Brachiaria* ha quedado restringido a un par de especies asiáticas; otras especies que antes pertenecían a este género, forman ahora parte del género *Urochloa*⁵. Los especímenes de formas cultivadas recolectados anteriormente en Nicaragua y los colectados durante este estudio presentan características intermedias entre las formas silvestres de *U. decumbens* R.D. Webster y *U. brizantha*. Estos especímenes tienen el raquis de los racimos angostamente alados, por lo que se les considera *U. decumbens* (W3 Tropicos-MBG), una especie distinta no un sinónimo de *U. brizantha*.

5 Davidsen, G. 2013. Curador del Missouri Botanical Garden.

Cuadro 2. Número de especies exclusivas y compartidas en las dos zonas de estudio, por forma de crecimiento

Zona	Árboles	Arbustos	Hierbas	Escandantes*	Total
Muy Muy	19	14	52	1	86
Rivas	31	14	88	9	142
Compartidas	13	11	72	2	98
Total	63	39	212	12	326

* Término botánico que se refiere a la forma de crecimiento de algunas plantas que trepan sobre la vegetación circundante

Cuadro 3. Número de especies nativas y exóticas registradas en las zonas de estudio

Estatus	Muy Muy	Rivas	Compartidas	Total
Exóticas	8	6	11	25
Nativas	75	132	87	294
Indeterminadas	2	2	3	7
Total	86	142	98	326

En cuanto a *D. aristatum*, se sabe que la especie presenta pubescencia hacia el final del pedúnculo; los especímenes colectados en este estudio fueron glabros, por lo que se decidió que en realidad se trata de la especie *Dichantium annulatum* (Forssk.) Stapf.

Durante este estudio se colectó, por primera vez en el Pacífico Sur de Nicaragua, la especie exótica *Alysicarpus vaginalis* (L.) DC. Esta especie de origen africano se encuentra muy extendida en la zona de Rivas, si bien

ya había sido reportada en el centro y el atlántico de Nicaragua (W3 Tropicos-MBG).

La especie nativa *Desmodium procumbens* var. *transversum* (B.L. Rob. & Greenm.) B.G. Schub. fue colectada por segunda vez en Nicaragua. Solo se conocía una colecta en el país (W3 Tropicos-MBG).

Índices de riqueza y curvas de acumulación de especies

Índices de riqueza de especies

Si bien la zona de Rivas fue la más rica en especies, las curvas de acumulación muestran que no se han alcanzado las asíntotas (Figura 1), lo que indica que el número de especies registradas podría aumentar si se incrementara el esfuerzo de muestreo. Según el número de especies esperado que calcula el índice de Chao de primer orden (Cuadro 4), el porcentaje de especies capturado con el muestreo de este estudio fue de 60% en Muy Muy y 68% en Rivas.

Con el índice de Jackknife de primer orden (Cuadro 4), el porcentaje de especies obtenido en Muy Muy y en Rivas es el mismo (74%). Una de las razones que pueden explicar las diferencias en riqueza observada entre las dos zonas es la extensión del área de muestreo. A pesar de que en Muy Muy se registraron especies en un mayor número de unidades de muestreo que en Rivas (66 y 57 parcelas respectivamente), la extensión muestreada en Rivas fue muy superior. Los puntos de muestreo en Rivas se extendieron en un área de 91,74 km², mientras que los de Muy Muy cubrieron tan solo 0,55 km², por lo cual es de esperar que la diversidad regional captada en el estudio sea mayor. La extensión espacial es uno de los factores que pueden explicar diferencias regionales en riqueza de especies (Chiarucci *et al.* 2006). Esto se debe a que al muestrear un área más grande se puede captar una mayor heterogeneidad ambiental, por lo que el efecto de “diversidad de hábitat” puede ser también mayor (Connor y Mc Coy 1979). Asimismo, al aumentar la extensión de la zona de muestreo puede aumentar también la probabilidad de captar

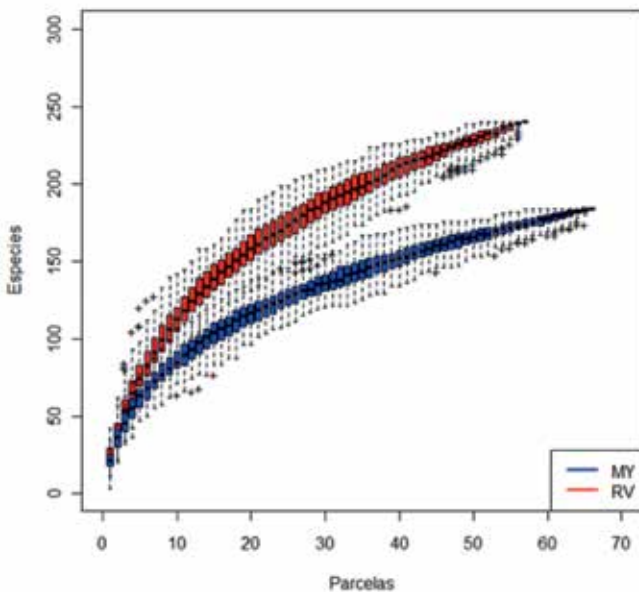


Figura 1. Curvas de acumulación de especies por región
MY: Muy Muy; RV: Rivas

Cuadro 4. Índices de riqueza de especies por zona

	Especies observadas	Índ. Chao1	Índ. Jack1	No. parcelas
Total	326	476,2	436,1	123
Muy Muy	184	305,6	250,9	66
Rivas	240	350,6	326,5	57

especies diferentes si los individuos tienden hacia una distribución agrupada en el espacio como producto de limitaciones en la dispersión.

En Muy Muy se cubrió una mayor heterogeneidad altitudinal, pero los potreros están claramente dominados por las especies nativas: *Paspalum notatum* y *Axonopus compressus* en las regiones bajas (200-500 msnm); *P. conjugatum* y *A. compressus* en las regiones más altas (500-800 msnm). En Rivas, la presencia de potreros inundados y potreros dominados por especies nativas, así como otros dominados por diferentes especies exóticas puede contribuir a incrementar la diversidad beta de la región.

Aunque la región de Rivas fue más rica en especies, el índice de similitud de Jaccard entre las dos regiones es del 75% y el índice de Sørensen del 85%. Esto significa que ambas zonas son muy similares, si se considera la lista total de especies registradas por zona. Las especies

exclusivas de cada región (Cuadro 1) contribuyen poco a la riqueza, ya que el grueso de la composición florística está formado por especies compartidas. Las regiones son semejantes en cuanto a condiciones ambientales y los usos del suelo, por lo que no se esperaban grandes diferencias en la composición.

Análisis de componentes principales de especies más frecuentes por zona

El análisis de componentes principales basado en las parcelas de muestreo y sus listas de especies muestra una clara diferenciación en la composición florística a nivel de potrero en las zonas de estudio. Los primeros dos ejes de este análisis explican el 21% de la variación total. La composición de especies en Rivas es más heterogénea, ya que las parcelas están más dispersas que en Muy Muy (Figura 2).

Las parcelas de Rivas y Muy Muy se distinguen a lo largo del primer eje de variación. A pesar de que en Muy Muy se registró un mayor número de especies exóticas, estas aparecen con más frecuencia en Rivas y contribuyen a distinguir los sitios de Rivas de los de Muy Muy. El análisis indica una asociación de las especies introducidas con las parcelas en Rivas (RV); así, *Digitaria bicornis* y *Rotboellia cochichinensis* se asocian con el primer eje, e *Hyparrhenia rufa*, *D. annulatum* y *Lantana camara*, con el segundo eje de variación. Las especies nativas pertenecientes a las familias más abundantes (Fabaceae

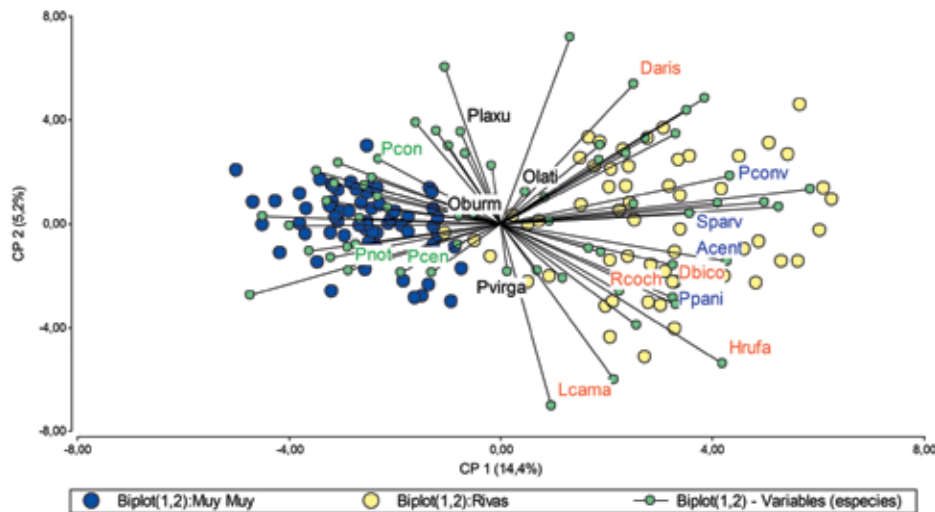


Figura 2. Análisis de componentes principales basado en las especies más frecuentes

Especies exóticas: rojo; Poaceae más frecuentes en la zona de Rivas: azul; Poaceae más frecuentes en la zona de Muy Muy: verde; Poaceae que no están claramente asociadas a ninguna de las dos zonas: negro. Plaxu, *Panicum laxum*; Olati, *Olyra latifolia*; Oburm, *Oplismenus burmanii*; Pvirga, *Paspalum virgatum*; Pcon, *P. conjugatum*; Pnot, *P. notatum*; Pcen, *P. centrale*; Daris, *D. aristatum*; Dbico, *Digitaria bicornis*; Rcoch, *Rotboellia cochichinensis*; Hrufa, *Hyparrhenia rufa*; Lcama, *Lantana camara*; Pconv, *P. convexum*; Sparv, *Setaria parvifolia*; Acent, *Axonopus centralis*; Ppani, *P. paniculatum*.

y Poaceae) se correlacionan con el eje 1 y son diferentes en cada región. Las especies de *Poaceae* más frecuentes en Rivas son *Paspalum paniculatum*, *P. convexum*, *Axonopus centrale* y *Setaria parvifolia*, mientras que en Muy Muy son *P. conjugatum*, *P. notatum* y *P. centrale*. Estas diferencias podrían estar relacionadas con patrones de manejo de los pastizales y con patrones edáficos.

En cuanto a los suelos, también hay diferencias entre las dos zonas. Los suelos de Rivas tienen mayor contenido de arcilla y los de Muy Muy de arena, limo, fósforo y carbono. Estas diferencias pueden llevar a una diferenciación en los patrones de composición de especies. En cuanto al manejo, en Rivas el uso de pastos introducidos está más extendido; entre ellos, *H. rufa*, *Cynodon dactylon* y *D. annulatum*. En el sector de La Chocolata, Rivas, los potreros nativos dominados por *P. notatum* fueron muy comunes en el pasado. Según un productor, en los años setenta algunos productores introdujeron *H. rufa*, la cual desplazó a *P. notatum*⁶. Hoy, la presencia de potreros con dominancia de *P. notatum* es marginal en Rivas; solamente se encontraron dos en todo el estudio.

En Muy Muy, el uso de pastos exóticos es poco frecuente y los potreros con especies nativas ocupan grandes extensiones. Un análisis de correspondencia realizado reforzó la percepción de que en la zona de Rivas predomina los siguientes usos de la tierra: pasturas sembradas, cultivos, potreros sin árboles y parches de bosque secundario. Esto da una idea de sitios con un manejo más intensivo para la producción agrícola-ganadera, lo que podría resultar en la mayor dominancia de especies exóticas en los potreros de esta zona.

CONCLUSIONES

La riqueza de especies encontrada en este estudio coincide, tanto en números como en taxonomía de las familias más diversas, con estudios realizados previamente en las zonas de estudio. Al analizar la lista total de especies de cada zona, la composición florística es similar, pero al comparar los ensambles de especies a nivel de parcela, las zonas de estudio se distinguen claramente. La mayor riqueza de especies en Rivas puede explicarse porque el área cubierta en el muestreo fue mayor, lo que probablemente contribuyó a incluir una mayor variabilidad de hábitats.

Los pastizales de las dos zonas están dominados por especies distintas aunque de las mismas familias botánicas; en Rivas, a pesar de haberse encontrado un número menor de especies exóticas, éstas ocurren con más frecuencia en los potreros que en la zona de Muy Muy. Las diferencias en composición observadas entre las dos zonas pueden tener su origen en diferencias edáficas y en la historia de manejo de los pastizales de las dos zonas de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a las personas que colaboraron con este trabajo. A Néstor Pineda y Julio Ordoñez por su apoyo en el trabajo de campo. A Dalia Sánchez por el apoyo logístico en Nicaragua. A José Linares, Gerrit Davidsen y Thomas Croat por su ayuda en la identificación de especímenes botánicos. A Douglas Stevens por la información acerca del estado del conocimiento de las especies en Nicaragua y a Mike Palmer por su amabilidad al facilitarnos literatura relevante. Finalmente agradecemos al Consejo Noruego de Investigaciones (RCN) – proyecto “Bio-engineering multi-functional silvopastoral landscapes: A case study in Nicaragua”, Grant no. 190134/V10, por el apoyo financiero para esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, M; Córdoba, S; Escobar, F; Fagua, G; Gast, F; Mendoza, H; Ospina, M; Umaña, AM; Villarreal, H. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventario de biodiversidad. Bogotá, Colombia, Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 235 p.
- Bullock, SH; Mooney, HA; Medina, E. 1995. Seasonally dry tropical forests. Cambridge, Cambridge University Press. p. 450.
- Chiarucci, A; Bacaro, G; Rochini, D; Ricotta, C; Palmer, MW; Schenaider, SM. 2006. Spatially constrained rarefaction: incorporating the autocorrelated structure of biological communities into sample-based rarefaction. *Community Ecology* 10(2):209-214.
- Connor, EF; McCoy, ED. 1979. The statistic and biology of the species-area relationships. *Am. Nat.* 113:791-833.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Esquivel, J. 2005. Regeneración natural en árboles y arbustos en potreros activos de Muy Muy, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 142 p.
- Graham, P; Vance, CP. 2003. Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant physiology* 131:872-877.

6 Castellón, A. 2012. Productor ganadero de la zona de Rivas, Nicaragua. Comunicación personal.

- Hoehn, P; Steffan-Dewenter, I; Tschardtke, T. 2010. Relative contribution of agroforestry, rainforest and openland to local and regional bee diversity. *Biodiversity and Conservation* 19:2189-2200.
- Hummel, S. 2000. Understory development in young *Cordia alliodora* plantations. *New Forests* 19:159-170.
- Inifom (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal). 2005. Ficha municipal de Matiguás. www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/.../matiguas.pdf
- Jacobs, BF; Kingston, JD; Jacobs, LL. 1999. The origin of grass-dominated ecosystems. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 86:590-643.
- Jank, L; Valle, CB; Resende, RMS. 2011. Breeding tropical forages. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 11:27-34.
- Landsberg, G; James, CD; Morton, SR; Müller, WJ; Stol, J. 2003. Abundance and composition of plant species along grazing gradients in Australian rangelands. *Journal of Applied Ecology* 40:1008-1024.
- Lira-Noriega, A; Guevara, S; Laborde, J; Sanchez-Rios, G. 2007. Composición florística en potreros de los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana* 80:59-87.
- Maciel, CD; Poletine, JP; Aquino, CJ; Ferreira, DM; Maio, RM. 2008. Composição florística da comunidade infestante em gramados de *Paspalum notatum* no município de Assis, SP. *Planta Daninha, Viçosa-MG* 26(1):57-64
- Magfor (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestal). 2001. Información cartográfica. Managua, Nicaragua.
- Missouri Botanical Garden. W3 Tropicos:Plant data base (en línea). Consultado febrero 2013. Disponible en <http://www.tropicos.org/Name/25513420?tab=distribution>
- Murgueitio, E; Calle, Z. 1998. Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. Cali, Colombia, Cipav. p 19-46.
- Ospina, SD. 2005. Rasgos funcionales de las plantas herbáceas y arbustivas y su relación con el régimen de pastoreo y la fertilidad edáfica en Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 88 p.
- Ospina, SD. 2010. Linking plant strategies and ecosystem function: an assessment of the contribution of biodiversity to neotropical grassland productivity. PhD. Thesis. School of Environment, Natural Resources and Geography. Bangor University, United Kingdom. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 122 p.
- Ospina, S; Rusch, GM. Ibrahim, M; Finegan, B; Casanoves, F. 2009. Composición y diversidad florística de los pastizales en el sistema silvopastoril de Muy Muy, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 47:68-75.
- Ospina, S; Rusch, GM; Pezo, DA; Casanoves, F; Sinclair FL. 2012. More stable productivity of semi natural grasslands than sown pastures in a seasonally dry climate. *Plus One* 7(5) e 35555. Doi:101371/journal.pone0035555.
- Pimentel, D; Stachow, U; Tackacs, D; Brabaker, H; Dumas, A; Meaney, J; O'Neil, J; Onsi, D; Corzilius, D. 1992. Conserving biological diversity in agricultural and forestry systems. *BioScience* 42(5):354-362.
- R Foundation for Statistical Computing. 2008. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Rua, GH; Speranza, PR; Vaio, M; Arakaki, M. 2010. A phylogenetic analysis of the genus *Paspalum* (Poaceae) based on cpDNA and morphology. *Plant Systematics and Evolution* 288(3-4):227-243.
- Sánchez, D; Harvey, CA; Grijalva, A; Medina, A; Vílchez, S; Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente* 45:91-104.
- Sauceda, M. 2010. Impacto del arreglo espacial del componente arbóreo en sistemas silvopastoriles sobre el nivel de sombreado y la conectividad estructural de los paisajes en los municipios de Belén y Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 110 p.
- Somarriba, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guajava* L.) trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 6:153-162.
- Tschardtke, T; Steffan-Dewenter, I; Kruess, A; Thies, C. 2002. Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. *Ecological Applications* (12):354-363.
- Westman, WE. 1990. Managing for biodiversity. *BioSciences* 40:26-33.
- Zapata, P. 2010. Efectos del guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carao (*Cassia grandis*) y roble (*Tabebuia rosea*) sobre la productividad primaria neta aérea y composición florística de pasturas naturales de Muy Muy y Matiguas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 154 p.

Influencia de los árboles en la vegetación herbácea de sistemas ganaderos del trópico seco de Nicaragua

Piedad Zapata¹, Graciela Rusch², Muhammad Ibrahim³,
Fabrice DeClerk⁴, Fernando Casanoves⁵, John Beer⁶

RESUMEN

Se estudiaron las características estructurales de tres especies forestales y su efecto sobre la productividad primaria neta aérea y la composición florística de pastizales naturales en el trópico seco de Nicaragua. Las especies arbóreas consideradas fueron carao (*Cassia grandis*), roble (*Tabebuia rosea*) y guácimo (*Guazuma ulmifolia*). Los resultados evidencian que la productividad de la pastura se redujo en un 31,8%, bajo carao, una especie perennifolia de copa grande y densa, 12,5% bajo árboles de guácimo y 4,9% bajo árboles de roble. Sin embargo, las tres especies cumplen funciones diferentes y complementarias en las fincas ganaderas: el carao contribuye a reducir el estrés térmico del ganado en la época seca y de fuertes temperaturas; el guácimo aporta forraje y frutos para la alimentación del ganado y el roble es una fuente importante de madera. Por lo tanto, en la selección de especies arbóreas para el diseño de sistemas silvopastoriles se deben considerar las características estructurales de la especie, su efecto sobre la productividad de la pastura y sus beneficios productivos y ambientales para el sistema.

Palabras claves: Densidad de copa, diversidad de especies, riqueza de especies, productividad primaria neta aérea, sistemas silvopastoriles.

ABSTRACT

Influence of trees on grasslands in the Nicaraguan dry tropics

The structural characteristics of three tree species and their effects on above ground net primary production and the floristic composition of grasslands in the dry tropics of Nicaragua were analyzed from April to July 2009. The forest species evaluated were pink shower (*Cassia grandis*), savannah oak (*Tabebuia rosea*) and guacimo (*Guazuma ulmifolia*). Results showed that productivity decreased 31.8% under carao, an evergreen species with a big and dense crown, 12.5% under guacimo and 4.9% under roble. Nonetheless, the three species performed different but complementary functions within cattle farms: carao helped in reducing thermal stress during the dry period when temperatures reach very high values, guacimo contributed fruit and fodder as cattle food, and roble is a valuable source of wood. For the design of silvopastoral systems, tree species have to be carefully chosen, considering their effects on pasture production and other environmental and product benefits.

Keywords: Crown density, species diversity, species richness, above ground net primary productivity, silvopastoral systems.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas ganaderos, los árboles cumplen funciones importantes como fuente de follaje y frutos para el ganado, especialmente en la época seca, y además proveen otros bienes y servicios al productor (Zamora *et al.* 2001). Sin embargo, los árboles y arbustos tradicionalmente han sido vistos negativamente en los sistemas ganaderos porque se presume que reducen la producción de herbáceas y que su presencia dificulta la manipulación del ganado (Archer y Smeins 1991).

La cobertura arbórea presenta características muy variadas (altura, diámetro de la copa, forma de la copa, densidad y distribución del follaje) que afectan la producción de pasto. No obstante, una buena planificación de la selección de especies y su distribución en el terreno ayudan a minimizar los impactos negativos, al mismo tiempo que se aprovechan los múltiples beneficios que se derivan al combinar la producción de pasto y de árboles en las fincas ganaderas (Rusch *et al.* 2013).

1 Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Correo electrónico: pzapata@udca.edu.co

2 Norwegian Institute for Nature Research (NINA) Noruega. Tel: +47 73 80 14 00, Fax: +47 73 80 14 01. Correo electrónico: graciela.rusch@nina.no

3 Representante Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –Belice. Correo electrónico: mibrahim@catie.ac.cr

4 Bioversity Internacional. Correo electrónico: f.declerck@cgiar.org 5 CATIE, Profesor de la Unidad de Estadística. Correo electrónico: casanoves@catie.ac.cr

6 CATIE, Director de la División de Investigación y Desarrollo. Teléfono: +506 2556 7830 ó 2558 2340, Fax: +506 2558 2045. Correo electrónico: jbeer@catie.ac.cr

Este estudio evaluó el papel que ejercen tres de las especies arbóreas más abundantes en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua, sobre la productividad primaria neta aérea y composición florística de pasturas naturales. Las especies evaluadas fueron carao (*Cassia grandis*), roble (*Tabebuia rosea*) y guácimo (*Guazuma ulmifolia*). El supuesto de partida es que las características estructurales de la especie arbórea condicionan la cantidad de recursos (agua, nutrientes, luz) disponibles para el estrato herbáceo y, por lo tanto, influyen en la composición, productividad y nivel de cobertura del suelo.

El área de estudio

El estudio se realizó durante marzo a julio del 2009 en tres fincas ubicadas en Muy Muy (12°45'40,50" N; 85°37'52,43" W) y cinco fincas en Matiguás (12°50'13,56" N; 85°27'38,84" W). En la región, la estación lluviosa va de mayo a diciembre (pastoreo rotacional) y la estación seca de enero hasta abril (pastoreo continuo). La precipitación promedio anual en Muy Muy es de 1400 mm y 1800 mm en Matiguás (Inifom 2008). Los suelos son de tipo vertisol, principalmente.

Como unidad experimental, se seleccionaron cinco árboles por especie siguiendo criterios a nivel de finca (área menor a 100 ha, no uso de arado, no práctica de quema), de potrero (pendiente suave o moderada (0-20%), pedregosidad nula o leve, vegetación herbácea similar entre potreros) y posición de muestreo (bajo el árbol y pleno sol). Los criterios para la selección de los árboles fueron los siguientes: individuos aislados, diámetro a la altura del pecho de 20 a 80 cm, no poda de ramas, posición topográfica y tipo de suelo similar bajo el árbol y en pastura abierta. Para definir el área de la parcela de muestreo (188 m²) se empleó el programa ShadeMotion, que considera el área de proyección horizontal de la sombra del árbol (Quesada y Somarriba 2007). El área de 2 x 2 m alrededor del tronco del árbol no se incluyó en los muestreos (Figura 1). Para cada árbol se estableció una parcela a pastura abierta de las mismas dimensiones que la parcela bajo el árbol sin influencia de sombra arbórea. Cuando se trabajaron dos árboles de especies diferentes en un mismo potrero, se realizó un muestreo común de la pastura abierta.

Características estructurales y densidad de copa

A todos los árboles con dap > 20 cm encontrados en los potreros se les midió el dap, la altura del tronco y la altura total. Posteriormente, se seleccionaron 15 árboles y se les evaluó la densidad de copa por medio del densiómetro; para ello se hicieron mediciones cada 30 días

durante los meses de abril a julio del 2009. Para cada árbol se tomaron cuatro mediciones en relación con los puntos cardinales, mirando siempre hacia el árbol y a una distancia de 3 m con respecto al tronco -esta se estableció como la distancia promedio, después de un análisis del diámetro de las copas de los 15 árboles seleccionados-. La densidad de copa para cada árbol en cada fecha fue un promedio de las cuatro mediciones.

Evaluación de la productividad primaria neta aérea (PPNA)

Se establecieron cuatro ciclos de medición de 30 días cada uno. Al inicio del ciclo se cosecharon muestras de biomasa verde en pie y biomasa seca en pie. Para establecer la cantidad de biomasa inicial se utilizó un cuadrante de 50 x 50 cm protegido con una jaula móvil (50 x 50 x 75 cm) (Figura 1), el cual se midió al final del ciclo (30 días después). El cálculo de la PPNA corresponde a las diferencias positivas entre la medición final y la medición inicial para cada componente, expresadas en gMs/m²/día -se aplicó la corrección por senescencia establecida por Sala y Austin (2000). Para medir la precipitación se ubicó un pluviómetro en una finca de cada zona de estudio y se obtuvo un registro semanal durante los cuatro meses del estudio; los datos se registraron como precipitación acumulada (mm) por mes.

Composición química y humedad del suelo

Se tomó una muestra compuesta para cada árbol y posición (bajo árbol y pastura abierta) conformada por diez submuestras tomadas de entre 0 y 10 cm de pro-

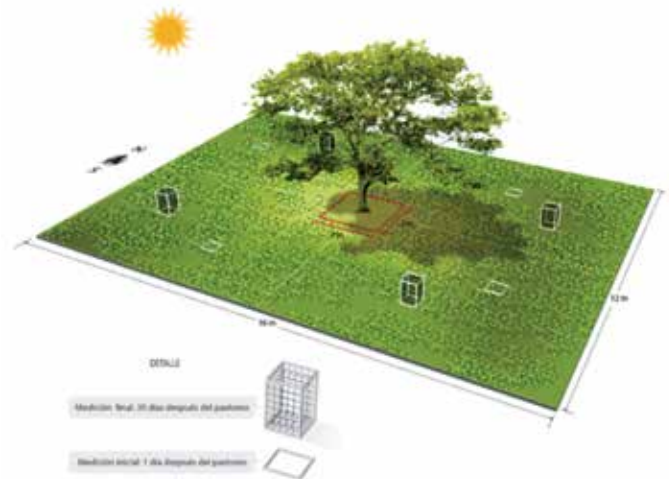


Figura 1. Parcela de muestreo para la evaluación de la productividad primaria neta aérea de pasturas bajo árboles en potreros

fundidad. Para la posición bajo el árbol, las muestras se tomaron en dirección suroeste a la mitad de la copa del árbol, ya que esta es la zona más influenciada por la caída de hojarasca y material vegetal (Sandoval 2006). Se evaluó el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM $\mu\text{g/gsoil}$), el carbono orgánico, los cationes de intercambio (Ca^{2+} , Na^{+} , Mg^{2+} , K^{+}), el aluminio de intercambio (Al^{3+}) y el fósforo inorgánico.

Para la humedad se realizó una medición semanal durante los meses de abril y mayo con el ThetaProbe, un instrumento que cuenta con sensores para medir el contenido de agua en el suelo. En junio y julio se utilizó el método gravimétrico debido a fallas en el instrumento. En cada fecha de muestreo se realizaron cuatro mediciones en cada una de las dos posiciones (bajo árbol y pastura abierta) a una profundidad de 0-5 cm.

Evaluación de la composición florística

Se hizo una evaluación en la época seca (abril) y tres en la época lluviosa (mayo, junio, julio). Para la evaluación en campo se utilizó un marco de 50 x 50 cm subdividido en 25 cuadrantes. Dentro de cada subcuadrante se evaluó el porcentaje de cobertura de cada especie y de suelo desnudo. En total se realizaron 240 observaciones de 0,25 m² para cada posición evaluada.

Para evaluar las diferencias entre tratamientos para cada una de las variables se realizaron modelos lineales y mixtos. El suelo desnudo presentó problemas de distribución por lo que se transformó a arcsin (root (proportion)). En los casos en que se rechazó la hipótesis de igualdad de tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias LSD de Fisher a un nivel de significación de 0,05. Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico InfoStat versión 2009 (Di Rienzo *et al.* 2009).

RESULTADOS

Características estructurales de los árboles y densidad de copa

Los árboles de carao presentaron un mayor dap que los árboles de guácimo y roble. Los árboles de guácimo ramifican a menor altura, mientras que el carao presenta copas más grandes y altas (Cuadro 1). Los árboles de roble comenzaron a perder las hojas en marzo y permanecieron con poca o nula cobertura de follaje durante mayo; recién a mediados de junio empezaron a recuperar las hojas. El guácimo perdió parte de sus hojas entre marzo y abril, en tanto que el carao no perdió totalmente el follaje (Figura 2). Se encontraron diferencias significa-

tivas en cuanto a la densidad de copa de las tres especies ($f_{(6,36)}=4,94$; $p=0,0009$) durante los meses evaluados. La mayor densidad de copa la registraron los árboles de carao en julio, y la menor densidad se registró en árboles de guácimo y roble en abril (Figura 2b).

La productividad primaria neta aérea de las pasturas

Variación temporal.- La PPNA de la pastura varió significativamente entre meses ($f_{(3,84)}=52,04$; $p<0,0001$): fue mayor en junio y menor en abril (Figura 3), cuando también se registró la precipitación más baja (Figuras 4 y 6). Los niveles de suelo desnudo fueron significativamente mayores ($f_{(3,72)}=37,05$; $p<0,0001$) en abril (mes seco) y menores durante los meses lluviosos (mayo a julio) (Figura 5).

Variación espacial.- La PPNA fue mayor ($f_{(1,84)}=3,97$; $p=0,0495$) en la pastura abierta (2,21 g/Ms/m²/día) que bajo los árboles (1,86 g/Ms/m²/día), independientemente de la especie. Este valor equivale a una disminución promedio de la PPNA del 15,8% en presencia de árboles. Bajo las especies arbóreas, la reducción de la PPNA con respecto a la pastura abierta fue mayor en carao (0,7 g/Ms/m²/día), seguido por guácimo (0,3 g/Ms/m²/día) y roble (0,1 g/Ms/m²/día). Las variables químicas evaluadas (carbono orgánico, nitrógeno, aluminio, calcio, magnesio, potasio, fósforo inorgánico), la humedad del suelo y niveles de suelo desnudo no variaron significativamente ($p>0,05$) entre las dos posiciones evaluadas (Cuadro 2).

Relación entre densidad de copa de los árboles y PPNA de la pastura.-

No se encontraron diferencias para la PPNA de la pastura bajo las tres especies de árboles ($f_{(2,8)}=1,80$; $p=0,2264$) y no hubo un efecto de la densidad de copa ($p=0,5874$) sobre la PPNA de la pastura. Sin embargo, existe una tendencia que relaciona la PPNA de la pastura con la densidad de copa de las especies arbóreas: en abril y junio el pasto bajo carao registró los niveles de PPNA más bajos, lo cual coincide con mayores niveles de densidad de copa durante estos meses (Figura 7). En julio, el guácimo presentó la menor densidad de copa y la mayor PPNA con respecto a las pasturas bajo árboles de roble y carao, mientras que en mayo no se evidenció una relación entre la PPNA y la densidad de copa en las especies arbóreas.

Abundancia, riqueza y diversidad de especies herbáceas

Se registraron 57 especies en las pasturas evaluadas, distribuidas en 22 familias. Existió una clara dominancia de gramíneas de la familia Poaceae (12 especies), seguida por la familia Fabaceae (9 especies). La especie más común

Cuadro 1. Características estructurales de tres especies arbóreas evaluadas en potreros de Muy Muy y Matiguás, Nicaragua (dap>20 cm)

Características	Árboles seleccionados			Total árboles en potreros evaluados		
	Carao (n=5)	Guácimo (n=5)	Roble (n=5)	Carao (n=99)	Guácimo (n=93)	Roble (n=116)
dap (cm)	45,2	35,2	35,1	37,3	35,8	30,5
Altura total (m)	12,4	7,6	11,2	13,6	9,1	10,1
Altura de copa (m)	9,5	5,1	7,3	10,3	6,7	7,1
Altura de base (m)	2,9	2,5	3,9	3,3	2,4	3,0
Área de copa (m ²)	231,3	116,2	129,1	163,7	67,1	125,5

en las pasturas fue *Paspalum notatum* con un promedio de cobertura de 40,2%, seguida por *P. conjugatum* con 9,6% de cobertura. La riqueza ($f_{(1,84)}=22,22$; $p < 0,0001$) y diversidad de especies herbáceas ($f_{(1,84)}=27,34$; $p < 0,0001$) fue mayor bajo los árboles (independientemente de la especie) que en pastura abierta (Figura 8a). A la vez, la riqueza ($f_{(3,84)}=17,29$; $p < 0,0001$) y diversidad ($f_{(3,84)}=7,58$; $p < 0,0002$) fue mayor en los meses lluviosos (Figura 8b).

Variación temporal de la PPNA, riqueza y diversidad de pasturas naturales

La estacionalidad de las lluvias se convierte en un factor determinante de la riqueza, diversidad y productividad de los pastizales evaluados, lo que reafirma que la variabilidad de las precipitaciones es la principal causa de las diferencias en la producción de forraje (Ghannoum 2009, Huxman *et al.* 2004, Maraschin 2001, Barker y Caradus 2001, Berretta 2001). Los cambios temporales en la composición florística y PPNA de la pastura también pueden estar relacionados con el pastoreo continuo durante el periodo seco (abril). Una mayor presencia del ganado causa compactación del suelo y reduce la infiltración del agua; en consecuencia, el desarrollo de las pasturas se ve afectado y se abre espacio al crecimiento de arbustos y herbáceas anuales (Deregibus *et al.* 2001, Maraschin 2001).

La PPNA de la pastura fue menor en julio que en junio, lo cual podría asociarse a una posible saturación hídrica debido al aumento de las lluvias y la baja capacidad de infiltración de los suelos (tipo vertisoles). Sería conveniente evaluar con mayor detalle los niveles máximos y mínimos de precipitación bajo los cuales la PPNA de los pastizales empieza a disminuir.

La abundancia de *Paspalum notatum* y *P. conjugatum* en los sitios evaluados podría deberse a su tolerancia al pisoteo y a suelos arcillosos (Martínez 2003) y a una alta resistencia a la sequía debido a su sistema de

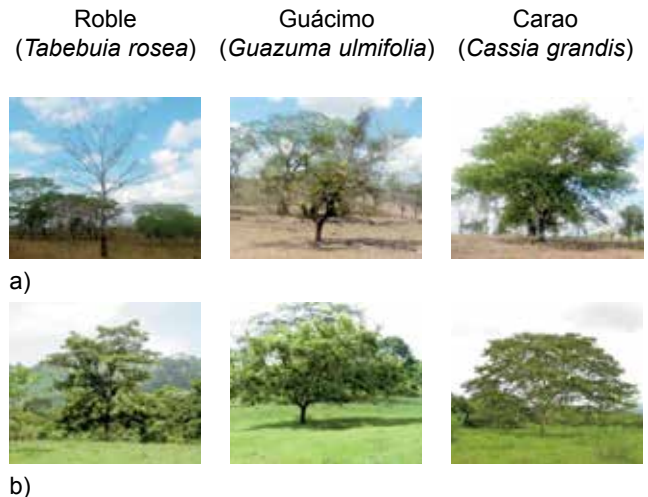


Figura 2. Cobertura de follaje de tres especies arbóreas evaluadas en potreros de Muy Muy y Matiguás, Nicaragua
a) Época seca (abril) b) Época lluviosa (julio)

raíces profundas (Tropical Forages 2005, Perdomo y Mondragón 2005). Además, su condición de especies C_4 (mayor adaptación a la sequía y condiciones calurosas) les confiere cierto grado de adaptación a la sequía y a condiciones calurosas, ya que son más eficientes que las C_3 (mayor tolerancia a la sombra) en el uso del agua (Pallardy 2008, Tipple y Pagani 2007).

Efecto de la presencia arbórea sobre la PPNA, riqueza y diversidad de pasturas naturales

La mayor riqueza y diversidad de especies herbáceas bajo la copa de los árboles podría relacionarse con un aumento de la presencia de animales por efecto de la sombra del árbol (Blackshaw y Blackshaw 1994). La presencia de animales hace que se acumulen más heces y orina (deposición de semillas y nutrientes) y que, al llegar las lluvias, las semillas presentes en el suelo encuentren las condiciones apropiadas para su desarrollo. Entre los factores que determinan la reducción de la productividad bajo el árbol están las modificaciones en

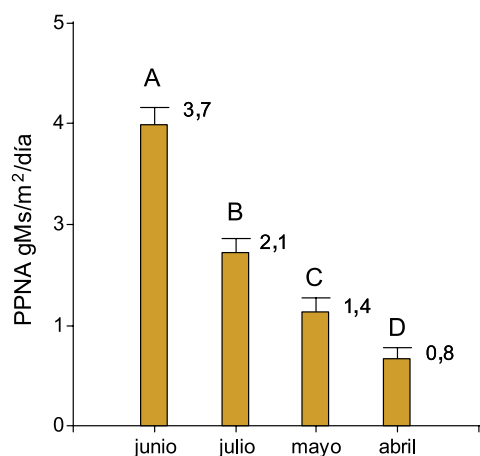


Figura 3. PPNA (gMs/m²/día) de pasturas naturales asociadas a tres especies de árboles

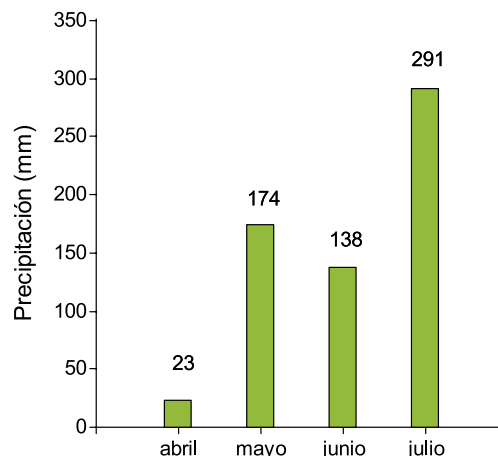


Figura 4. Precipitación en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua

la disponibilidad de recursos (luz, agua y nutrientes del suelo) y las características físicas y químicas de la capa de hojarasca (Barbier *et al.* 2008). Sin embargo, en este estudio no hemos encontrado diferencias significativas en la composición química y humedad del suelo bajo la copa de los árboles *versus* la pastura abierta. Por lo tanto, la reducción de la cantidad de luz debido a la presencia arbórea es potencialmente el factor que más influyó en la reducción de la PPNA bajo la copa de los árboles.

La fenología del roble, el carao y el guácimo se relaciona estrechamente con la distribución de las lluvias; durante la estación seca la densidad de la copa de los árboles disminuye y la disponibilidad de luz se incrementa a nivel del suelo. La mayor densidad de copa, junto con la condición fenológica de las especies arbóreas, inciden en la PPNA de las pasturas debido a la reducción de la luz

disponible para el estrato herbáceo y, posiblemente, por una mayor presencia del ganado atraído por la sombra del árbol. Como resultado, se pudieran alterar las condiciones físicas del suelo, producir daños físicos sobre el estrato herbáceo por pisoteo y ramoneo, aumentar la superficie de suelo descubierto y disminuir la productividad de la pastura. Los niveles de suelo descubierto bajo árboles de carao fueron superiores a los registrados bajo árboles de guácimo y roble (Cuadro 2), lo cual coincide con una mayor densidad de copa y menor PPNA de la pastura bajo el carao.

CONCLUSIONES

En periodos relativamente cortos, los pastizales de Muy Muy y Matiguás están sometidos a variaciones fuertes en el régimen de precipitaciones, lo cual influye directamente en su composición y productividad. La reducción de luz por efecto de la presencia arbórea fue el factor determinante de la variación en la PPNA bajo los árboles. El metabolismo fotosintético de las plantas (C₃-C₄) condiciona su abundancia en la pastura debido al grado de tolerancia a la sombra, eficiencia en el uso del agua y resistencia a la sequía.

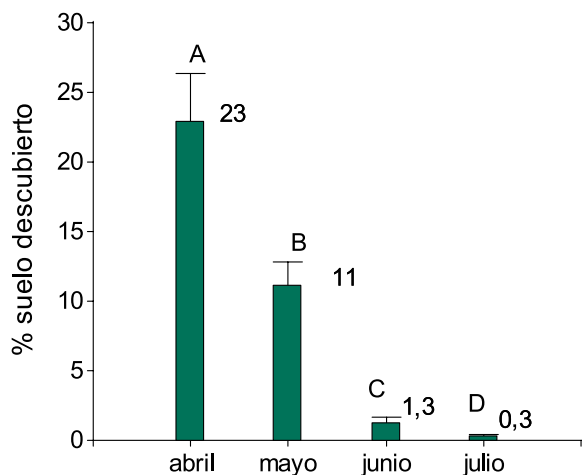


Figura 5. Suelo desnudo (%) en pasturas asociadas a tres especies de árboles en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua

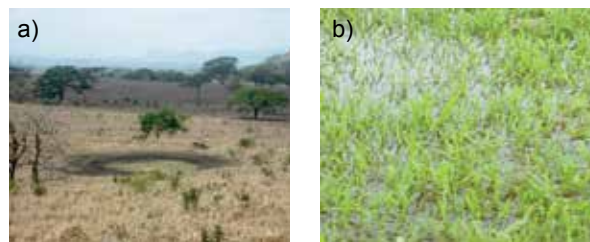


Figura 6. Cambios temporales de la pastura en el trópico seco de Nicaragua
a). Época seca b). Época lluviosa

En el diseño y manejo de sistemas silvopastoriles, las decisiones sobre el tipo de especies y densidad arbórea en los potreros deben considerar no solo el efecto del árbol sobre la pastura, sino también el papel global que desempeña cada especie dentro del sistema como fuente

de sombra, alimento para el ganado, conservación de la humedad del suelo. A nivel de la pastura se debe buscar la combinación de especies forrajeras C₄ y especies C₃ con el fin de hacer un aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles.

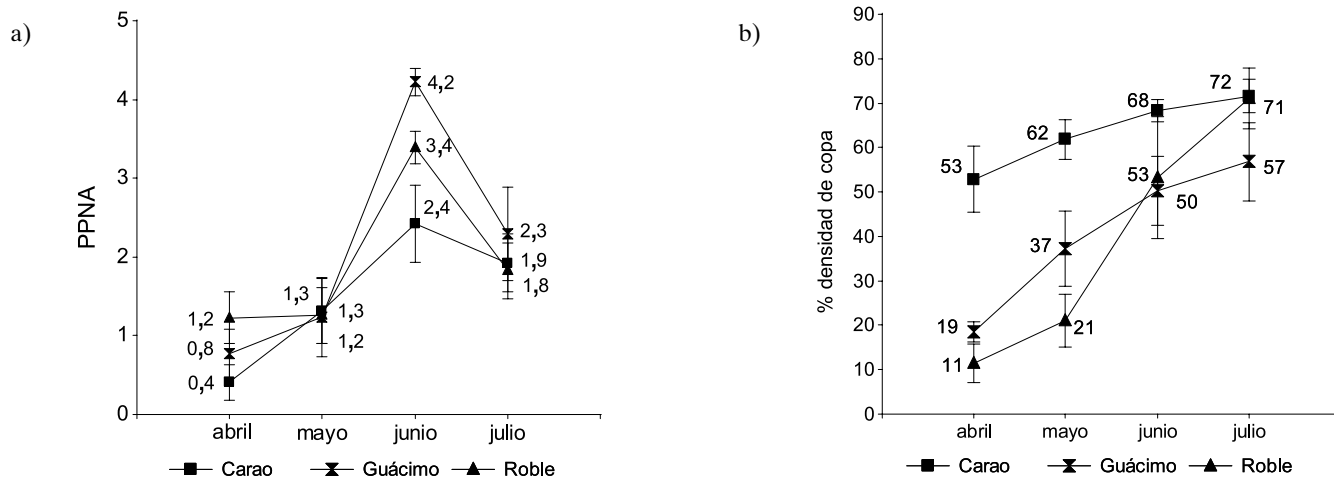


Figura 7. a) PPNA (gMs/M²/día) de pasturas bajo tres especies de árboles; b) Densidad de copa de tres especies de árboles en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua

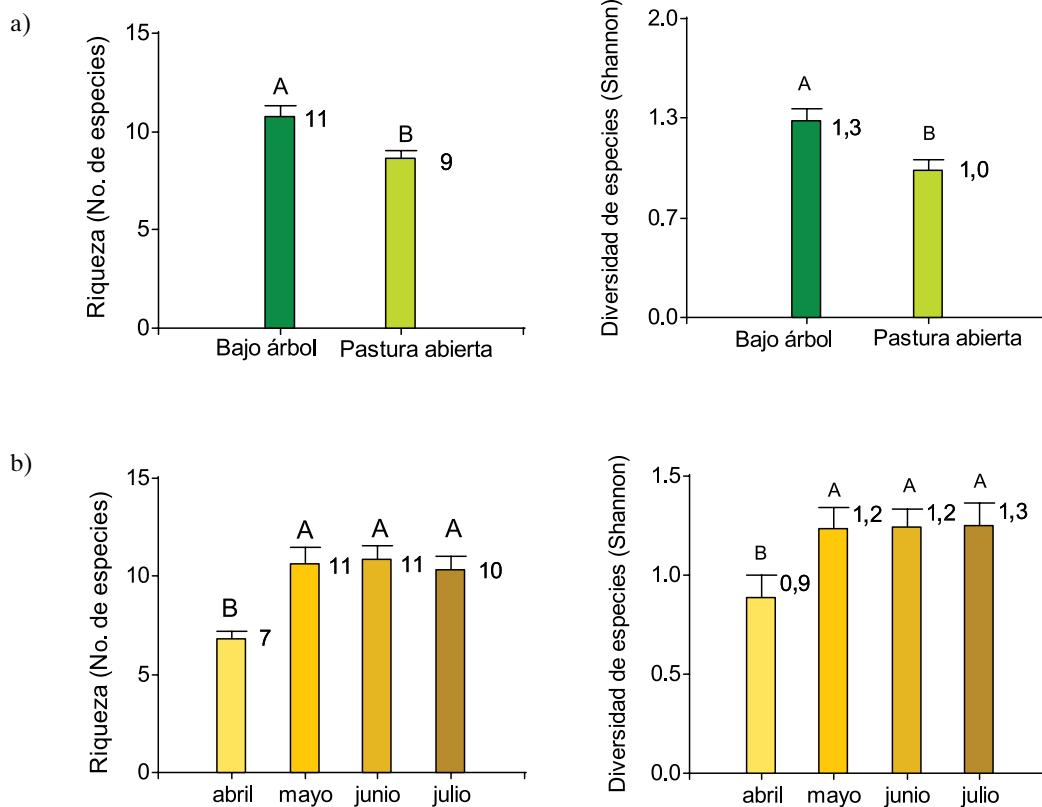


Figura 8. Riqueza y diversidad de especies herbáceas en pasturas asociadas con tres especies de árboles en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua: a) variación espacial, b) variación temporal.

Cuadro 2. Variables evaluadas por posición de muestreo* (Diferencias significativas $p < 0,05$)

Variable	Carao		Guácimo		Roble	
	BA	PA	BA	PA	BA	PA
pH	6,2±0,1	6,3±0,05	6,2±0,06	6,3± 0,1	6,0±0,09	6,2±0,1
Carbono orgánico %	4,6 ±0,8	4,5±0,7	5,2±0,9	4,7±0,5	4,9±1,3	4,7±0,3
Nitrógeno ug7g	52,3±18,4	53,6±29,3	68,1±46,5	59,6±47,9	80,8±39,6	74,5±44,7
P inorgánico ug7g	5,9±3,0	5,6±2,7	6,8±3,1	6,3±2,3	5,6±1,5	4,7±1,0
Al mq/100g	0,01±0,01	0,004±0,01	0	0,01±0,02	0,004±0,01	0,02±0,01
Ca mq/100g	24,9±8,2	23,1± 9,9	27,5±10,2	24,9±8,6	27,3±9,4	29,5±14,7
K mq/100g	0,4±0,3	0,2±0,1	0,7±0,7	0,3±0,3	0,4±0,2	0,3±0,2
Mg mq/100g	7± 2,7	7,1±3,9	9,4±2,6	9±3,9	7,4±3,5	7,05±3,0
Humedad %	27,9±18,8	24,8±17,2	31,4±19,5	31,5±20,1	34,1±21,6	32,6±20,6
PPNA gMs/m²/día	1,5±1,1	2,2±1,7	2,1±1,6	2,4±1,7	1,9±1,1	2,0±1,4
Suelo desnudo %	13,9±17,8	8,7±14,6	9,8±15,1	9,7±12,3	5,7±11,4	5,6±10,4

* BA: bajo árbol PA: pastura abierta

BIBLIOGRAFÍA

- Archer, S; Smeins, FE. 1991. Ecosystem level processes. In Heitschmidt, R; Stuth, JW. (Eds.). Grazing management: an ecological perspective. Hong Kong, Timber Press. 109 p.
- Barbier, S; Gosselin, F; Balandier, P. 2008. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved: A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* 254(1):1-15.
- Barker, DJ; Caradus, JR. 2001. Adaptation of forage species to drought. In International Grassland Congress; Proceedings (19th; Sao Paulo, Brazil; 11-21 Feb. 2001). p. 241-246.
- Berretta, EJ. 2001. Ecophysiology and management response of the subtropical grasslands of Southern South America. In International Grassland Congress; Proceedings (19th; Sao Paulo, Brazil; 11-21 Feb. 2001). p. 939-946
- Blackshaw, J; Blackshaw, A. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34(2):285-295.
- Deregibus, VA; Jacobo, E; Ansin, OE. 2001. Grassland use and plant diversity in grazed ecosystems.. Consultado 05 de julio 2009. Disponible en http://www.internationalgrasslands.org/publications/pdfs/tema23_1.pdf
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ghannoum, O. 2009. C₄ fotosíntesis y estrés hídrico. *Annals of Botany* 103:635-644.
- Huxman, TE; Smith, M; Fay, P; Knapp, A; Shaw, MR; Loik, ME; Smith, SD; Tissue, DT; Zak, JC; Weltzin, JF; Pockman, WT; Sala O; Haddad, BM; Harte, J; Koch, GW; Schwinning, S; Eric, E; Small, EE; David, G; Williams, DG. 2004. Convergence across biomes to common rain-use efficiency. *Nature* vol. 429. Disponible en <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/person/38279/pdfs/Huxman%20et%20al%202004%20nature.pdf>
- Inifom (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal). 2008. Ficha municipal Muy Muy, Matagalpa. Consultado 28 oct. 2008. Disponible en http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/MATAGALPA/muy_muy.pdf
- Maraschin, GE. 2001. Production potential of South American grasslands. In International Grassland Congress; Proceedings (19th; Sao Paulo, Brazil; 11-21 Feb. 2001). p. 5-15.
- Martínez Rayo, JL. 2003. Conocimiento local de productores ganaderos sobre cobertura arbórea en la parte baja de la cuenca del río Bul Bul en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 158 p.
- Pallardy, S. 2008. Physiology of woody plants. 3 ed. Missouri, Columbia, United States, Elsevier.
- Perdomo, F; Mondragón, J. 2005. *Paspalum notatum* Flügge. Consultado 25 octubre 2009. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/paspalum-notatum/fichas/ficha.htm>
- Quesada, F; Somarriba, E. 2007. ShadeMotion: software para simular la forma, posición y evolución temporal de las sombras que proyectan los árboles. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Rusch, G; Zapata, P; Casals, P; Romero, J; Saucedo, M; Morales, J; Declerck, F. 2013. Relación de la cobertura arbórea con la disponibilidad de pasto. In Sánchez, D; Villanueva, C; Rusch, G; Ibrahim, M; Declerck, F. (Eds.). Estado del recurso arbóreo en fincas ganaderas y su contribución en la producción en Rivas, Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p. (Serie Técnica. Boletín Técnico no. 60).
- Sala, OE; Austin, AT. 2000. Methods of estimating aboveground net primary production. In Sala, OE; Jackson, RB; Mooney, HA; Howarth, RW. (Eds.). *Methods in ecosystem science*. New York, Springer Verlag. p. 31-43.
- Sandoval, IE. 2006. Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies arbóreas y dos gramíneas en pasturas de Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 160 p.
- Tipple, BJ; Pagani, M. 2007. The early origins of terrestrial C₄ photosynthesis. *Annu. Rev. Earth Planet* 35:435-61. Consultado 5 noviembre 2009. Disponible en <http://earth.geology.yale.edu/~mp364/data/2007%20Tipple%20and%20Pagani.pdf>
- Tropical Forages. 2005. *Paspalum notatum*. Consultado 11 noviembre 2009. Disponible en http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Paspalum_notatum.htm
- 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.

Diversidad forrajera tropical

1. Selección y uso de leñosas forrajeras en sistemas de alimentación ganadera para zonas secas de Nicaragua

Nelson Pérez Almario¹; Muhammad Ibrahim²;
Cristóbal Villanueva³; Cristina Skarpe⁴; Hubert Guerin⁵

RESUMEN

Se evaluaron diez especies con potencial forrajero para zonas secas de Rivas, Nicaragua con el fin de integrarlas en el diseño de sistemas silvopastoriles como estrategias de alimentación bovina. Las especies evaluadas fueron leguminosas sin espinas (*Albizia niopoides*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Samanea saman*); leguminosas con espinas (*Acacia farnesiana*, *Mimosa pigra*); leñosas no leguminosas (*Moringa oleifera*, *Brosimum alicastrum*, *Cordia dentata* y *Guazuma ulmifolia*). Se utilizó forraje de ramas delgadas menores a 1,0 cm de diámetro de diferentes individuos seleccionados de cada especie leñosa. El forraje se ofreció, mediante el método de cafetería, a cinco vacas en producción con similares características de raza, peso, edad, sexo y estado de lactancia. Se evaluó la preferencia, el tiempo de consumo de cada leñosa y el número y tamaño de bocados por especie; el consumo se obtuvo por diferencia entre la cantidad de forraje ofrecido y restante. Los resultados reflejan una mayor preferencia y consumo de forraje de tres especies (*S. saman*, *L. leucocephala* y *A. niopoides*) que presentan diferencias físicas, nutricionales y fenológicas en relación con las demás. Estas especies representan las mejores opciones para el diseño de sistemas silvopastoriles en el trópico seco nicaragüense.

Palabras claves: método de cafetería, nutrición animal, sistemas silvopastoriles.

ABSTRACT

Tropical forage diversity: 1. Selection and use of woody forage species as supplemental food for cattle in the Nicaraguan dry tropics

Ten woody species with forage potential for the dry zone in Nicaragua were assessed to select the best ones for the design of fodder silvopastoral systems. The species evaluated were thornless leguminous (*Albizia niopoides*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Samanea saman*); thorn leguminous (*Acacia farnesiana*, *Mimosa pigra*); non leguminous woody trees (*Moringa oleifera*, *Brosimum alicastrum*, *Cordia dentata* y *Guazuma ulmifolia*). Forage fed were branches less than 1.0 cm diameter from different trees of each woody species. Using the cafeteria method, forage was fed to five producing cows with similar characteristics of race, weight, age, sex and nursing stage. The variables evaluated were preference, consumption time per species, number and size of bits per species; consumption was determined as the difference between the quantity of fodder offered and remaining. The final results showed preference for three species (*S. saman*, *L. leucocephala* and *A. niopoides*). The three of them are physically, nutritionally and phenologically different from the others. These species are the best option for the design of forage silvopastoral systems in the Nicaraguan dry tropics.

Keywords: cafeteria method, animal nutrition, silvopastoral systems.

1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. nperez@corpoica.org.co; neperez@catie.ac.cr

2 Representante Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Belice

3 Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza – CATIE

4 Universidad de Hedmark, Departamento de Gestión Forestal y Vida Silvestre

5 Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement – CIRAD

INTRODUCCIÓN

En el trópico seco de América Central se da un periodo seco que varía entre cuatro y siete meses, e incide en la cantidad y calidad de forrajes, en la productividad y rentabilidad de las fincas ganaderas y en el deterioro de los recursos naturales. Afortunadamente, también se cuenta con un gran número de especies forrajeras leñosas con potencial para ser utilizadas como estrategias de alimentación bovina y mitigar los efectos del cambio climático y las deficiencias nutricionales en zonas secas. Sin embargo, tales especies pueden aportar productos bioquímicos cuyos efectos en los animales que los consumen no han sido explicados con las formas tradicionales de estudiar las plantas.

Para identificar las características preferidas en los forrajes se han realizado pruebas de consumo con métodos de cafetería: observación del comportamiento de los animales y preferencia de especies forrajeras en pastoreo, especialmente para herbívoros no domésticos, pequeños rumiantes y bovinos. En este estudio se aplicaron pruebas de cafetería desarrolladas en condiciones controladas con diferentes especies forrajeras disponibles para medir el consumo de las especies leñosas.

Con el fin de contribuir a la identificación de las características relacionadas con la preferencia por el forraje de leñosas, se diseñó un estudio basado en la combinación de leñosas en pares (método de cafetería controlado). Las variables medidas fueron la preferencia por consumo, tiempo de consumo, número y tamaño de bocados. Estas variables identifican las leñosas preferidas por los bovinos y, a partir del resultado, se diseñan sistemas silvopastoriles con las leñosas preferidas. La investigación fue financiada por el proyecto Funcitree (Marco Ecológico para Sistemas Agroforestales Sostenibles y Adaptables en Ecorregiones Subhúmedas y Áridas) del programa GAMMA (Programa Ganadería y Manejo del Medio Ambiente) del CATIE.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como paso inicial, a partir de estudios en la región centroamericana, se seleccionaron diez especies leñosas con potencial forrajero de las siguientes categorías: leguminosas sin espinas (*Albizia niopoides*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Samanea saman*); leguminosas con espinas (*Acacia farnesiana*, *Mimosa pigra*); leñosas no leguminosas (*Moringa oleifera*, *Brosimum alicastrum*, *Cordia dentata* y *Guazuma ulmifolia*). Los criterios para esta selección tuvieron que ver con la información existente en fuentes secundarias sobre el contenido

nutricional de esas leñosas, conocimiento local sobre usos forrajeros en fincas ganaderas, disponibilidad de forraje en la época seca, abundancia observada en la región, observación de consumo directo por parte de bovinos y registros en la base de datos del proyecto Funcitree.

El experimento se desarrolló en la finca Santa Gertrudis, localizada en el municipio de Belén, departamento de Rivas, Nicaragua. La finca se ubica entre las coordenadas 11°30' N y 85°53' W, a una altura de 80 msnm (Figura 1). El clima corresponde a bosque seco subhúmedo, con temperaturas que oscilan entre 26° y 33°C y precipitación entre 1400 y 1600 mm (Ineter 2010). La finca cuenta con comederos construidos de cemento y corrales de madera. El sistema productivo es leche y cría de animales de la raza cebú. Los potreros tienen pastos naturales y naturalizados y en la época seca se suplementa la alimentación.

Prueba preliminar para ajuste de variables

Días antes de la prueba se realizó una prueba preliminar que consistió en la aplicación de la metodología (método de cafetería con tiempo controlado), con el propósito de ajustar los factores de medición, como la cantidad de forraje a ofrecer, el tiempo de consumo en cada evento, la altura de colocación del forraje ofrecido, el orden y forma de entrada de los animales a cada evento. Tres días antes de la prueba se suministró a los bovinos forrajes de todas las especies para inducir un proceso de acostumbramiento hacia el consumo de las leñosas.

La recolección de forraje se efectuó cada día entre 6 y 8 am de individuos de las diferentes especies que tuvieran un dap y una altura semejantes. Se ofrecieron ramas delgadas de hasta 1,0 cm de diámetro, provenientes de individuos seleccionados de cada especie leñosa. Antes de cada evento, se pesó 1 kg de forraje en balanza de precisión (error 0,01). Se formaron atados de cada especie amarrados en forma vertical hacia abajo y altura de 120 a 150 cm, los cuales se dispusieron como parejas de leñosas, de acuerdo al orden de aleatorización (previo ajuste en la prueba preliminar).

Se seleccionaron cinco vacas de ordeño de la raza cebú que estuvieran en el mismo estado fisiológico, lactancia de 3 a 4 meses, peso de 399±11,9 kg, buen estado sanitario y edad entre 4 y 5 años. Las vacas permanecían en pastoreo todo el tiempo con el resto de animales. Las vacas usadas en las pruebas permanecieron con heno y agua disponible a voluntad antes y después de las pruebas.

La entrada a cada prueba se hizo de forma individual (previo ajuste en la prueba preliminar). Se realizaron 225 combinaciones pareadas durante nueve días, se desarrollaron 45 combinaciones por vaca de forma aleatoria, 25 combinaciones diarias (el orden de las combinaciones del día fue aleatorio); cada prueba tuvo una duración de tres minutos por evento, medidos con cronómetro deportivo (75 minutos de pruebas por día, para un tiempo total de 11,25 horas). En los Cuadros 1 y 2 se detallan las combinaciones de la aleatorización y las especies de cada combinación.



Figura 1. Ubicación del área de estudio

Rasgos físicos y nutricionales

Los resultados de las pruebas de campo se complementaron con una matriz de rasgos físicos y nutricionales

Cuadro 1. Combinaciones por vaca para la prueba de preferencia

Especie	G. ulmifolia	G. sepium	M. pigra	B. alicastrum	A. farnesiana	L. leucocephala	S. saman	C. dentata	M. oleifera	A. niopoides	Total
<i>G. ulmifolia</i>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	9
<i>G. sepium</i>			10	11	12	13	14	15	16	17	8
<i>M. pigra</i>				18	19	20	21	22	23	24	7
<i>B. alicastrum</i>					25	26	27	28	29	30	6
<i>A. farnesiana</i>						31	32	33	34	35	5
<i>L. leucocephala</i>							36	37	38	39	4
<i>S. saman</i>								40	41	42	3
<i>C. dentata</i>									43	44	2
<i>M. oleifera</i>										45	1
<i>A. niopoides</i>											

Cuadro 2. Combinaciones aleatorizadas de leñosas para prueba de preferencias

Día	Leñosas combinadas				
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
1	<i>S. saman</i> <i>M. oleifera</i>	<i>L. leucocephala</i> <i>S. saman</i>	<i>S. saman</i> <i>A. niopoides</i>	<i>M. pigra</i> <i>M. oleifera</i>	<i>G. ulmifolia</i> <i>S. saman</i>
2	<i>G. ulmifolia</i> <i>G. sepium</i>	<i>M. pigra</i> <i>L. leucocephala</i>	<i>A. farnesiana</i> <i>A. niopoides</i>	<i>A. farnesiana</i> <i>S. saman</i>	<i>C. dentata</i> <i>A. niopoides</i>
3	<i>L. leucocephala</i> <i>C. dentata</i>	<i>M. pigra</i> <i>A. farnesiana</i>	<i>G. ulmifolia</i> <i>C. dentata</i>	<i>B. alicastrum</i> <i>A. farnesiana</i>	<i>G. sepium</i> <i>L. leucocephala</i>
4	<i>M. pigra</i> <i>B. alicastrum</i>	<i>B. alicastrum</i> <i>L. leucocephala</i>	<i>M. pigra</i> <i>S. saman</i>	<i>G. sepium</i> <i>M. oleifera</i>	<i>M. oleifera</i> <i>A. niopoides</i>
5	<i>C. dentata</i> <i>M. oleifera</i>	<i>G. ulmifolia</i> <i>L. leucocephala</i>	<i>B. alicastrum</i> <i>M. oleifera</i>	<i>S. saman</i> <i>C. dentata</i>	<i>G. sepium</i> <i>A. farnesiana</i>
6	<i>G. sepium</i> <i>B. alicastrum</i>	<i>G. sepium</i> <i>C. dentata</i>	<i>G. ulmifolia</i> <i>B. alicastrum</i>	<i>L. leucocephala</i> <i>M. oleifera</i>	<i>A. farnesiana</i> <i>L. leucocephala</i>
7	<i>M. pigra</i> <i>A. niopoides</i>	<i>A. farnesiana</i> <i>M. oleifera</i>	<i>G. sepium</i> <i>M. pigra</i>	<i>L. leucocephala</i> <i>A. niopoides</i>	<i>A. farnesiana</i> <i>C. dentata</i>
8	<i>G. ulmifolia</i> <i>M. pigra</i>	<i>B. alicastrum</i> <i>A. niopoides</i>	<i>B. alicastrum</i> <i>C. dentata</i>	<i>G. sepium</i> <i>A. niopoides</i>	<i>G. ulmifolia</i> <i>M. oleifera</i>
9	<i>G. sepium</i> <i>S. saman</i>	<i>G. ulmifolia</i> <i>A. niopoides</i>	<i>M. pigra</i> <i>C. dentata</i>	<i>B. alicastrum</i> <i>S. saman</i>	<i>G. ulmifolia</i> <i>A. farnesiana</i>

(Cuadro 3) para relacionarlos con las preferencias por consumo, tiempo de consumo, tamaño de bocado y número de bocados obtenidos.

Preferencia por consumo: se obtuvo por diferencia entre forraje ofrecido menos forraje consumido (en materia seca).

Preferencia por tiempo de consumo: tiempo cronometrado de consumo de cada especie por vaca durante el evento de tres minutos.

Preferencia por número de bocados: conteo del número de bocados de cada especie tomados por cada vaca durante el evento de tres minutos.

Tamaño de bocados: consumo de forraje por especie, dividido por el número de bocados tomados de dicha especie.

Variables: preferencia por consumo (materia seca de forraje ofrecido – forraje rechazado), tiempo efectivo de consumo, número de bocados, tamaño de bocados. Los datos fueron analizados con el *software* InfoStat (Balzarini *et al.* 2010) y procesados con estadística de modelos mixtos.

En este mismo número de la Revista aparece un segundo artículo en el que se detallan los rasgos funcionales que determinan la calidad nutricional y preferencia de leñosas forrajeras, como parte de sistemas de alimentación ganadera en zonas secas de Centroamérica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Consumo de leñosas como criterio de preferencia

Los forrajes de las especies leñosas en el campo ofrecen alimentos con diferentes sabores, olores, tonos de colores y contenidos nutricionales que inciden en la preferencia de un bovino por una especie en particular. Las hojas grandes y suaves, con lóbulos bipinados o imparipinados, están entre las preferidas por los bovinos. En este estudio, *Samanea saman*, *Leucaena leucocephala* y *Albizia niopoides* fueron las leñosas más consumidas (Figura 2), por mayores tiempos de consumo (Figura 3) y con mayores tamaños de bocado (Figura 4). Estas especies son leguminosas sin espinas, con hojas grandes y concentradas en las puntas de las ramas en forma bipinada (*A. niopoides*, *L. leucocephala*) o imparipinadas (*S. saman*, *M. oleifera*). Además, poseen valores altos de nitrógeno (3,67; 3,79 y 3,19), lo que significa una ventaja comparativa ante leñosas con hojas simples como *G. ulmifolia* y *C. dentata*. Velázquez (2005), en un estudio en época seca, identificó siete especies como muy apetecibles para bovinos; entre ellas, *S. saman* fue la especie de mayor preferencia por consumo, lo cual coincide con los resultados de este estudio.

Los rasgos nutricionales característicos, especialmente nitrógeno y fósforo, se relacionan con las especies mencionadas. Según Van Soest (1994) y Lyons y Machen (2000), la preferencia por determinado tipo de forraje, así como su valor nutricional, tiene que ver con las diferentes partes de la planta, la madurez del forraje y la dureza de hojas y tallos. En este sentido, la DIVMS (digestibilidad *in vitro* de la materia seca), FDN (fibra

Cuadro 3. Matriz de rasgos físicos y nutricionales de las especies seleccionadas

Especies	Rasgos físicos						Rasgos nutricionales								
	MS	AFE	Tensión hoja	Grosor hoja	Espinas (mm)	Largo espina	N	FDN	FDA	Cenizas	Ca	P	FC	DIVMS	TC
	%	cm	g	mm	unidad	cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<i>A. farnesiana</i>	51,43	10,75	125	0,025	19,6	1,16	2,95	46,3	40,0	6,7	1,46	0,25	19,9	56,2	3,10
<i>A. niopoides</i>	46,18	11,79	1216,7	0,025	0,0	0,0	3,13	45,5	31,6	8,92	2,31	0,25	24,82	42,9	1,22
<i>B. alicastrum</i>	39,79	13,44	778,8	0,023	0,0	0,0	1,87	48,8	36,1	10,5	1,75	0,37	22,40	65,2	0,35
<i>C. dentata</i>	30,05	20,96	441,7	0,026	0,0	0,0	3,38	56,0	44,1	15,4	1,86	0,22	21,00	39,1	0,00
<i>G. sepium</i>	25,04	18,29	300	0,025	0,0	0,0	3,52	41,8	30,7	9,3	1,47	0,22	22,12	74,8	0,28
<i>G. ulmifolia</i>	31,97	12,89	346,9	0,042	0,0	0,0	2,35	57,9	37,2	10,5	2,35	0,38	36,25	63,9	0,05
<i>L. leucocephala</i>	35,06	11,56	92,2	0,015	0,0	0,0	3,79	36,7	23,6	7,5	1,30	0,22	18,08	65,1	1,01
<i>M. pigra</i>	47,16	11,31	281,3	0,008	10,6	0,87	2,62	35,4	27,5	9,0	1,33	0,26	24,30	32,9	4,11
<i>M. oleifera</i>	22,47	23,63	152,5	0,018	0,0	0,0	3,19	29,4	19,2	10,9	1,88	0,32	18,50	65,2	1,02
<i>S. saman</i>	37,35	14,24	865,7	0,031	0,0	0,0	3,67	42,4	31,2	5,7	1,68	0,32	29,45	44,6	0,96

MS = materia seca; AFE = área foliar específica; N = nitrógeno; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida; Ca = calcio; P = fósforo; FC = fibra cruda; DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca; TC = taninos condensados
Fuente: Pérez (2011)

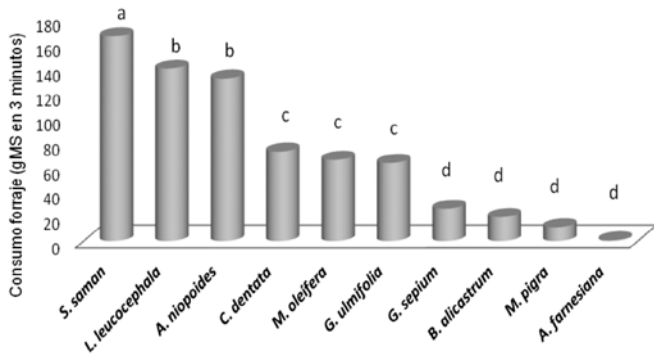


Figura 2. Preferencia de leñosas por consumo
Letras distintas indican diferencias significativas al 0,05.

detergente neutra), FDA (fibra detergente ácida), cenizas, calcio, fósforo y taninos condensados podrían jugar un papel importante en la calidad del forraje y la preferencia de los bovinos.

Las especies *M. pigra* y *A. farnesiana* presentaron los valores de preferencia por consumo más bajos, a pesar de que también son leguminosas (11,12+6,61 gMS y 0,74+0,74 gMS). Esto podría explicarse por la presencia de espinas y mayor contenido de TC. Ambos rasgos funcionan como mecanismos de defensa contra la herbivoría (Lyons *et al.* 2001a, Pérez 2011), por lo que limitan las posibilidades de estas especies en diseños de sistemas silvopastoriles para zonas secas.

En este mismo sentido, hay otros factores que condicionan la preferencia de los bovinos; por ejemplo, la presencia de componentes químicos como nitrógeno y fósforo, que ayudan a mejorar el sabor y calidad del forraje así como su digestibilidad (Wright y Westoby 1999, Pérez 2011); la succulencia o dureza de hojas y tallos (contenido de materia seca y de material fibroso) (Van Soest 1994, Lyons *et al.* 2001b, Pérez 2011); la experiencia previa y memoria de consumo del animal (Sandoval-Castro *et al.* 2005, Pinto *et al.* 2010).

En su estudio realizado con bovinos en México, Sandoval-Castro *et al.* (2005) evaluaron el consumo de diferentes leñosas forrajeras en pastoreo (gMS por minuto). Los autores reportan consumos de 22,18 g de *L. leucocephala*, 13,47 g de *G. ulmifolia* y 38,56 g de *B. alicastrum*; evidentemente, tales valores están muy por debajo de los alcanzados en este estudio.

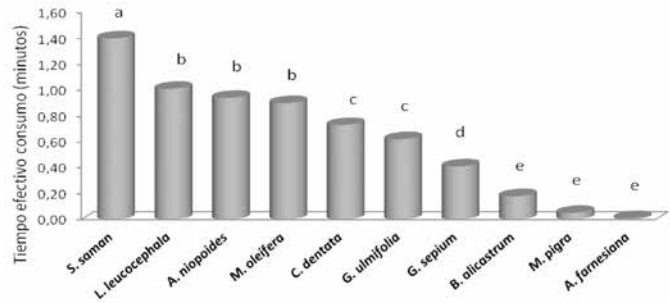


Figura 3. Tiempo efectivo de consumo de leñosas forrajeras
Letras distintas indican diferencias significativas al 0,05.

Tiempo efectivo de consumo como criterio de preferencia de leñosas

El tiempo efectivo de consumo mostró diferencias significativas con $p < 0,0001$ y $\alpha = 0,05$. Para este criterio, el tamaño de las hojas, su succulencia y el contenido de nitrógeno podrían favorecer el consumo rápido, mientras que las espinas, el FDA, FDN y TC podrían limitarlo como mecanismos de defensa de las plantas contra la herbivoría; de nuevo, estos rasgos juegan un papel clave en las preferencias de los animales.

En la Figura 3 se detallan los tiempos efectivos dedicados al consumo de forraje. De nuevo, las mismas especies aparecen con los valores más altos: *S. saman* 1,40 min, *L. leucocephala* 1,01 min y *A. niopoides* 0,94 min de la duración de la prueba. *M. pigra* y *A. farnesiana* mostraron los tiempos de consumo más bajos (0,05+0,03 min y 0,01+0,01 min, respectivamente). O sea que las tendencias en las preferencias de consumo y tiempo de consumo se mantienen.

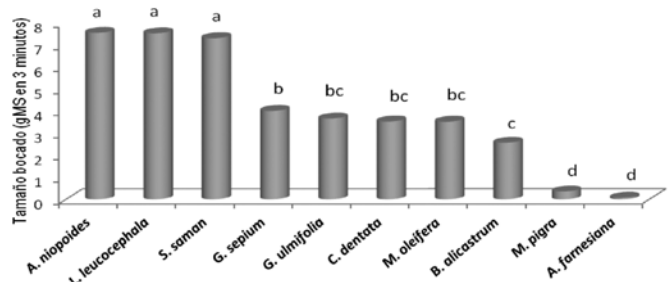


Figura 4. Preferencia por tamaño de bocado de leñosas forrajeras

Letras distintas indican diferencias significativas al 0,05.

Tamaño de bocado como criterio de preferencia de leñosas

El tamaño de bocados (gMS) observados mostraron diferencias significativas ($p < 0,0001$ y $\alpha = 0,05$) y corroboraron la tendencia en cuanto a las preferencias por las tres mismas especies (Figura 4). De acuerdo con Van Soest (1994) y Lloyd *et al.* (2010), el ganado prefiere las porciones de forraje más gustosas de las plantas leñosas (hojas). De entre las especies evaluadas, *S. saman*, *L. leucocephala* y *A. niopoides* tienen hojas con altos contenidos de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo y, en consecuencia, muy palatables. El forraje menos preferido fue el que tiene altos contenidos de fibra (MS, FDN y FDA).

La distribución de las hojas en las ramas y la presencia de espinas también pueden limitar o favorecer la toma de un mayor número de hojas por bocado (Lyons *et al.* 2001a; Pérez 2011). Sin embargo, el tamaño de bocado también puede relacionarse con el área foliar específica. En este sentido, se puede afirmar que los rasgos físicos como la forma y tamaño de la hoja, la presencia de espinas, el contenido de MS, el grosor y dureza de la hoja, junto con rasgos químicos como N, FDN, FDA, cenizas, Ca, P, FC, DIVMS y TC son muy útiles para clasificar y entender los hábitos y comportamientos forrajeros en ambientes secos.

Powers y Tiffin (2009, 2010) consideran que el contenido de nitrógeno en hojas de especies leguminosas y no leguminosas difiere significativamente, ya que las leguminosas son funcionalmente diferentes a otras especies

de árboles. Los autores afirman que las leguminosas con hojas compuestas también difieren de otras especies frondosas; por lo tanto, el tipo de hoja no explica estos patrones. En este sentido, una clasificación de plantas de tipo funcional basada en rasgos de hábito y forma de la hoja puede tener poca utilidad en el bosque seco tropical (Powers y Tiffin 2010).

Bocados por minuto como criterio de preferencia de leñosas

Los bocados por minuto, con diferencias significativas de $p < 0,0001$ y $\alpha = 0,05$, aportaron información importante para determinar las preferencias de los bovinos por las leñosas forrajeras. Con esta variable se evidenció un cambio en la tendencia y orden de preferencia de las leñosas (Figura 5): *C. dentata*, *G. ulmifolia* y *A. niopoides*, seguidas por *L. leucocephala* y *S. saman*. Este cambio podría deberse a que las hojas de *G. ulmifolia* y *C. dentata* presentan una mayor distribución espacial en las ramas y, en consecuencia, los bovinos necesitan de más tiempo y un mayor número de mordidas para llenar su cavidad bucal. Las especies con hojas bipinadas e imparipinadas, como *A. niopoides*, *L. leucocephala* y *S. saman*, concentran sus hojas en las puntas de las ramas, lo que facilita una mordida de mayor tamaño y un menor número de mordidas o bocados.

Es de suponer, entonces, que *G. ulmifolia* y *C. dentata* podrían tener buena aceptación y preferencia entre los bovinos; sin embargo, el bajo consumo de estas especies indica que los bovinos tuvieron dificultad para obtener mayor cantidad de forraje en cada mordida y necesitan

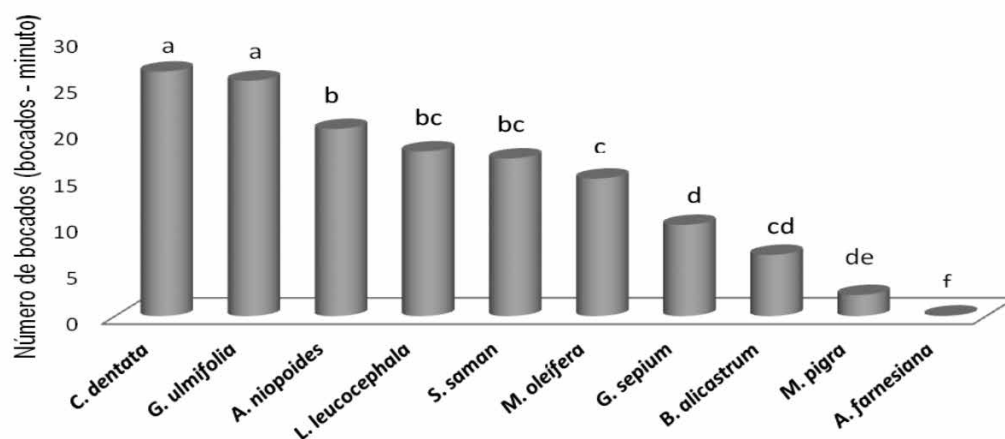


Figura 5. Número promedio de bocados de forraje por minuto. Letras distintas indican diferencias significativas al 0,05.

de más tiempo y velocidad de consumo para obtener cantidades adecuadas de forraje (Dicko y Sikena 1992, Lyons *et al.* 2001a, Pérez 2011) y compensar parcialmente la reducción del tamaño de bocado.

EN CONCLUSIÓN

De diez especies forrajeras leñosas evaluadas, *S. saman*, *L. leucocephala*, *A. niopoides* y *M. oleifera* fueron las preferidas por los bovinos como fuente de alimento. Estas especies representan las mejores opciones para el diseño de sistemas silvopastoriles en el trópico seco centroamericano.

BIBLIOGRAFÍA

- Balzarini, M; Gonzalez, G; Tablada, E; Casanoves, F; Di Rienzo, J; Robledo, C. 2010. InfoStat: manual del usuario. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, Grupo InfoStat. 334 p.
- Dicko, MS; Sikena, LK. 1992. Feeding behaviour, quantitative and qualitative intake of browse by domestic ruminants. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. Rome, Italy, FAO Animal Production and Health Paper. p. 129-144.
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2010. Zonificación de la III y IV región (en línea). Informe de campo. Managua, Nicaragua. Consultado el 12 agosto del 2010. Disponible en [http://www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/Matiguás .pdf](http://www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/Matiguás.pdf)
- Lyons, RK; Machen, RV. 2000. Interpreting grazing behavior (en línea). AgriLIFE Extensión L-5385(10):6. Consultado 12 agosto del 2010. Disponible en http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86955/pdf_1317.pdf?sequence=1
- Lyons, RK; Machen, R; Forbes, TDA. 2001a. Entendiendo el consumo de forraje de los animales en pastizales. Cooperativa de Texas "Extensión" E-100s(6):6.
- Lyons, RK; Machen, R; Forbes, TDA. 2001b. ¿Por qué cambia la calidad del forraje de los pastizales? AgriLIFE Extensión E-99s(7-01): 6.
- Lloyd, KM; Pollock, ML; Mason, NWH; Lee, WG. 2010. Leaf trait-palatability relationships differ between ungulate species: evidence from cafeteria experiments using naïve tussock grasses. *New Zealand Journal of Ecology* 34(2):219-226.
- Pérez, N. 2011. Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el departamento de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 126 p.
- Pinto, R; Hernández, D; Gómez, H; Cobos, MA; Quiroga, R; Pezo, D. 2010. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: usos y características nutricionales. *Universidad y Ciencia* 26(1):19-31.
- Powers, JS; Tiffin, PL. 2009. OOS 17-8: Is leaf habit or phylogenetic history a better predictor of variation in plant functional traits and foliar nutrients in 87 tree species from a tropical dry forest? Esa annual meeting. University of Minnesota. p. 1.
- Powers, JS; Tiffin, P. 2010. Plant functional type classifications in tropical dry forests in Costa Rica: leaf habit versus taxonomic approaches. *Functional Ecology* 24(4):927-936. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01701.x>
- Sandoval-Castro, CA; Lizarraga-Sanchez, HL; Solorío-Sánchez, FJ. 2005. Assessment of tree fodder preference by cattle using chemical composition, in vitro gas production and in situ degradability. *Animal Feed Science and Technology* 123-124 (Part 1): 277-289. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T42-4G9Y4P2-1/2/e01c2e931cc0185c57e06ce54b9d5312>
- Van Soest, PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed. Cornell Univ Press. 701 p.
- Velázquez, R. 2005. Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas naturalizadas en función de épocas, manejo y condición de paisaje en Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 77 p.
- Wright, IJ; Westoby, M. 1999. Differences in seedling growth behaviour among species: trait correlations across species, and trait shifts along nutrient compared to rainfall gradients (en línea). *Journal of Ecology* 87(1):85-97. Consultado 13 de noviembre del 2010. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00330.x>

Diversidad forrajera tropical

2. Rasgos funcionales que determinan la calidad nutricional y preferencia de leñosas forrajeras para su inclusión en sistemas de alimentación ganadera en zonas secas

Nelson Pérez Almario¹; Muhammad Ibrahim²;
Cristóbal Villanueva³; Cristina Skarpe⁴, Hubert Guerin⁵

RESUMEN

Se seleccionaron 23 especies leñosas con potencial forrajero para zonas secas de Rivas, Nicaragua. Las especies tuvieron diferencias funcionales, físicas y nutricionales que muestran la variabilidad entre leguminosas sin espinas; leguminosas con espinas y leñosas no leguminosas sin espinas. Con el fin de determinar la influencia de los rasgos físicos y nutricionales sobre la preferencia de los bovinos se diseñaron pruebas cortas de cafetería con tiempo controlado; además, se construyó una matriz de rasgos físicos y nutricionales integrada por datos medidos en campo y datos obtenidos en fuentes secundarias. Los resultados reflejaron la influencia de rasgos físicos y nutricionales que favorecen o limitan el grado de preferencia. Los rasgos foliares fósforo, nitrógeno y la DIVMS se perfilaron como indicadores de la calidad del forraje, además de la relación inversamente proporcional existente entre los niveles del material fibroso (FDN y FDA) con los taninos condensados, que limitan la calidad nutricional y preferencia para bovinos. Las especies leñosas con hojas de mayor área foliar específica, forma bipinnada o imparipinnada, suaves, suculentas y con bajos niveles de taninos condensados mostraron las mejores características funcionales para ser tenidas en cuenta en sistemas ganaderos en zonas secas. Las especies que mejor respondieron a la descripción fueron *Albizia niopoides*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Samanea saman*, *Moringa oleifera*, *Cordia dentata* y *Guazuma ulmifolia*.

Palabras claves: Bovinos, preferencia, sistema silvopastoril.

ABSTRACT

Tropical forage diversity: 2. Functional traits determining nutritional quality and preference of woody forage as supplemental food for cattle in the Nicaraguan dry tropics

This study evaluated 23 woody species with fodder potential for dry zones of Rivas, Nicaragua. There were functional, physical and nutritional differences among the species, which explained the variety among thornless leguminous, thorn leguminous and non-leguminous woody trees. In order to determine the influence of physic and nutritional traits on bovine preference, short coffee tests with controlled time were designed. Also, a matrix of physical and nutritional characteristics was designed; it was composed by the data gathered on the field and data obtained from secondary sources. The results showed the influence of physical and nutritional traits that favored or hindered the level of preference. Leaf traits, such as phosphorus, nitrogen and the DIVMS, stood out as indicators of fodder quality, as well as the relation inversely proportional between the levels of fibrous material (FDN and FDA) with condensed tannin, that limited both nutritional quality and preference. Leaves of woody species with big specific fodder area, bipinnate and odd-pinnate, soft, succulent and with low levels of condensed tannin showed the best functional traits to be taken into account for cattle systems in dry zones. The species with the best performance were *Albizia niopoides*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Samanea saman*, *Moringa oleifera*, *Cordia dentata* y *Guazuma ulmifolia*.

Keywords: Bovines, preference, silvopastoral system.

1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). nperez@corpoica.org.co; neperez3@yahoo.com

2 Representante Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Belice

3 Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza – CATIE

4 Universidad de Hedmark, Noruega, Departamento de Gestión Forestal y Vida Silvestre

5 Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Francia

INTRODUCCIÓN

En el trópico seco de América Central se da un periodo de ausencia de lluvias que varía de cuatro a siete meses. Esto incide en la cantidad y calidad de forraje disponible y en el deterioro de los recursos naturales y, además, afecta la productividad y rentabilidad de las fincas ganaderas. Afortunadamente, en estos paisajes ganaderos se encuentra una diversidad de especies leñosas con distintas propiedades funcionales que contribuyen a los sistemas de alimentación bovina. Un alto número de leñosas forrajeras tienen potencial como alimento para bovinos en sistemas silvopastoriles (SSP) y podrían ayudar a mitigar los efectos del cambio climático y las deficiencias nutricionales en zonas secas. Los componentes bioquímicos de algunas de esas especies son de valor nutricional para el ganado; sin embargo, las formas tradicionales de estudiar los nutrientes de las plantas no logran explicar la diversidad de interacciones.

La diversidad funcional (DF), a pesar de ser una herramienta reciente, ya se usa para caracterizar patrones comunitarios ante disturbios ambientales (Díaz *et al.* 2007). Esta herramienta permite cuantificar los recursos para explicar y predecir la función de los ecosistemas (Petchey *et al.* 2004). Este concepto también se ha aplicado en estudios que relacionan las comunidades biológicas con beneficios ofrecidos por los ecosistemas a las personas (servicios ecosistémicos) (Díaz *et al.* 2007; Lavorel *et al.* 2007) y, también, ayuda a entender procesos en torno a la productividad, reciclaje de nutrientes, almacenamiento y captura de carbono (Ricotta 2005). Los tipos funcionales existentes son grupos de organismos o especies que comparten respuestas ante factores ambientales y disturbios en el funcionamiento de los ecosistemas; tales respuestas suelen expresarse como valores de caracteres funcionales y ayudan a simplificar el manejo sostenible y de conservación (Kattan y Guariguata 2002, Díaz *et al.* 2007, Lavorel *et al.* 2007).

La DF se mide por rasgos funcionales, entendidos como los componentes del fenotipo de una especie, que influyen y responden a procesos ecosistémicos (Fernández 2007). La selección de rasgos maximiza el poder explicativo de la DF (Petchey *et al.* 2004). Las investigaciones actuales sobre los rasgos funcionales de las plantas se centran en las respuestas a factores ambientales como agua, nutrientes, sombra (Cornelissen *et al.* 2003). Sin embargo, los rasgos funcionales de las plantas son cualquier atributo de respuesta con influencia significativa en el establecimiento, supervivencia y capacidad de las plantas de adquirir y usar los recursos disponibles (Reich

et al. 2003). Tales rasgos permiten encontrar diferencias en la función de las plantas y predecir sus respuestas ante diferentes disturbios y gradientes ambientales (Lavorel y Garnier 2002, Westoby *et al.* 2002).

Entre las leñosas con potencial forrajero se destacan las especies de la familia *Leguminosae* por su excelente habilidad en el uso del recurso hídrico, producción de biomasa y naturaleza multipropósito en zonas secas. Asimismo, algunas especies de los géneros *Acacia*, *Albizia*, *Cassia*, *Cordia*, *Enterolobium*, *Gliricidia*, *Guazuma*, *Leucaena*, *Moringa*, *Pithecellobium* y *Samanea* poseen también un gran potencial como leñosas forrajeras. Para identificar características de preferencia en los forrajes se han realizado pruebas de consumo con diferentes métodos de cafetería y observación del comportamiento de los animales, o pruebas de selectividad y preferencia de especies forrajeras en pastoreo, especialmente para herbívoros no domésticos, pequeños rumiantes y bovinos. Sin embargo, son pocas las pruebas desarrolladas en condiciones controladas, en donde se prueben diferentes especies forrajeras disponibles para consumo *ad libitum* en las praderas, o diseñadas como pruebas de cafetería para medir el consumo de las especies leñosas en experimentos controlados.

Con el fin de contribuir a la identificación de rasgos físicos y nutricionales relacionados con la calidad y preferencia de las leñosas consumidas por los bovinos, se complementó la información de la matriz de rasgos físicos y nutricionales con los resultados de estimadores de preferencia por consumo y tamaño de bocados. Estas variables ayudaron a identificar los rasgos físicos y nutricionales de las leñosas preferidas por los bovinos; asimismo, se identificaron criterios de calidad y estructura para el diseño de sistemas silvopastoriles. El trabajo se realizó en la finca Santa Gertrudis del municipio de Belén, Rivas Nicaragua, y contó con financiación del proyecto FunciTree del programa GAMMA (Ganadería y Manejo del Medio Ambiente) de CATIE. En este mismo número de la Revista aparece un primer artículo en el que se detallan las condiciones del sitio de estudio.

Metodología

Se seleccionaron 23 especies leñosas con potencial forrajero, a partir de estudios hechos en la región (Cuadro 1). Las leñosas se escogieron a partir de los siguientes criterios de selección: existencia, en fuentes secundarias, de la mayor cantidad de información en cuanto a contenido nutricional de las especies; cono-

Cuadro 1. Especies leñosas con potencial forrajero para zonas secas

No.	Familia	Nombre científico	Nombre común
1	Mimosaceae	<i>Acacia collinsii</i>	cornizuelo
2	Mimosaceae	<i>Acacia farnesiana</i>	aromo, pelá
3	Mimosaceae	<i>Acacia pennatula</i>	carboncillo
4	Mimosaceae	<i>Albizia guachapele</i>	gavilán – iguá
5	Mimosaceae	<i>Albizia niopoides</i>	guanacaste blanco
6	Mimosaceae	<i>Samanea saman</i>	genízaro, samán
7	Caesalpinaceae	<i>Bauhinia unguolata</i>	pata de venado
8	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	ojoche, ramón
9	Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	jiñocuabo, lechero
10	Caesalpinaceae	<i>Cassia grandis</i>	carao, cañafistol
11	Boraginaceae	<i>Cordia dentata</i>	tigüilote, uvito
12	Bignoniaceae	<i>Crescentia alata</i>	jícara, totumo
13	Mimosaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	guanacaste, orejero
14	Fabaceae	<i>Erythrina berteroana</i>	elequeme
15	Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i>	madero negro
16	Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	guácimo
17	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	guapinol
18	Mimosaceae	<i>Leucaena leucocephala</i>	leucaena
19	Mimosaceae	<i>Leucaena shannonii</i>	sopa magui
20	Mimosaceae	<i>Mimosa pigra</i>	zarza, mimosa
21	Moringaceae	<i>Moringa oleifera</i>	marango
22	Mimosaceae	<i>Pithecellobium dulce</i>	espino de playa
23	Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i>	jobo, ciruelo

Fuente: Flora de Nicaragua <http://www.tropicos.org/NameSearch.aspx?projectid=7> consultado 10 octubre 2010

cimiento local de usos forrajeros en fincas ganaderas; especies con mayor disponibilidad forrajera en época seca; leñosas con mayor abundancia observada en la región; consumo directo observado en bovinos y datos registrados en el proyecto FunciTree/CATIE.

Con la información de campo y fuentes secundarias sobre estas especies se construyó la matriz de rasgos funcionales (características físicas y nutricionales). Además, se incluyeron los resultados de consumo y tamaño de bocados obtenidos con pruebas de preferencia mediante el método de cafetería con leñosas pareadas (Pérez 2011). Los rasgos incluidos en la matriz fueron los siguientes:

Rasgos físicos: materia seca (MS), área foliar específica (AFE), fuerza tensil (dureza de la hoja), grosor de la hoja, número y largo de espinas en 20 cm lineales).

Rasgos nutricionales: nitrógeno (N), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), fibra cruda (FC), cenizas, calcio (Ca), fósforo (P), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y taninos condensados (TC).

- Para la selección de los individuos arbóreos a muestrear en el campo se siguió la metodología de Cornelissen *et al.* (2003), aunque se introdujeron algunos cambios, como la selección de cinco plantas por especie y cinco hojas por individuo.
- El cálculo de materia seca y área foliar específica se midió con balanza de precisión (0,01), a partir del peso de la hoja en el momento de tomar la muestra. Posteriormente, las muestras se colocaron en papel húmedo para hidratar durante 6 a 8 horas; después de este periodo, se pesaron nuevamente y se secaron a 60°C durante 48 horas. El valor de la MS se expresó en porcentaje (%).
- Para obtener el área foliar específica, además de lo anterior, se efectuó la recolección de las muestras de hojas con pedúnculo para evitar la deshidratación. Antes de pesarlas, se eliminó el pedúnculo; la medición y cálculo del área foliar se realizó en escáner con resolución de 600 dpi, este valor se dividió por el peso seco de la hoja.
- El número de espinas se contó en 20 cm lineales de cinco individuos por especie con espinas. Además se midió la longitud de las espinas encontradas en esos 20 cm.
- Con muestras de 100 gramos de forraje fresco de hojas y ramas delgadas (<1,0 cm) por individuo, se midió el nitrógeno, calcio y fósforo. Las muestras se empacaron en bolsas de papel craft; después del cálculo de la materia seca, las muestras se molieron y se enviaron al laboratorio del CATIE.

Otras variables se obtuvieron de fuentes secundarias. El proyecto FunciTree ofreció la información de dos rasgos físicos: la fuerza tensil (dureza de la hoja) y grosor de la hoja. Además, se consultaron y referenciaron 149 fuentes bibliográficas encontradas en 48 documentos físicos y digitales que contienen información nutricional de las 23 especies leñosas en diferentes sistemas productivos en zonas secas. Esta información permitió obtener datos de varios rasgos nutricionales: fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), fibra cruda (FC), cenizas, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y taninos condensados (TC).

VARIABLES ANALIZADAS: correlaciones de los rasgos físicos y nutricionales de MS, AFE, dureza de hoja, grosor de hoja, N, FDN, FDA, FC, cenizas, Ca, P, DIVMS, TC, así como preferencia por consumo y tamaño de bocados. Los datos fueron analizados con el *software* InfoStat (Balzarini *et al.* 2010), mediante estadística de modelos mixtos para preferencia por consumo y tamaño de bocados y correlaciones para la matriz de rasgos funcionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el primer artículo (pag. 37) se analizan en detalle las preferencias de los bovinos por el forraje de las leñosas ofrecidas en cuanto a consumo, tiempo efectivo de consumo, tamaño de bocado y bocados por minuto. Se sugiere consultar ese artículo como complemento del análisis siguiente.

Rasgos físicos y nutricionales como criterio de calidad y preferencia

Las vacas utilizadas para la prueba tuvieron acceso a algunas especies leñosas en mayor proporción que otras, debido a la mayor abundancia en los potreros de la finca. Este fue el caso con *G. ulmifolia*, *G. sepium*, *A. niopoides*, *C. dentata*, *A. farnesiana* y *S. saman*. Además de la abundancia, también pudo haber incidido la experiencia previa y la memoria de consumo pues, en la época seca, los productores realizan podas y suministran a los animales forraje de *G. ulmifolia* y *G. sepium*, principalmente.

La presencia de espinas en algunas leñosas como *A. collinsii*, *A. farnesiana*, *A. pennatula*, *E. berteroana*, *M. pigra* y *P. dulce* funciona como un mecanismo de protección y defensa contra la herbivoría (Cuadro 2). Sin embargo, las especies *A. farnesiana*, *A. niopoides*, *C. grandis*, *E. berteroana*, *L. shannonii*, *M. pigra* y *P. dulce* presentan contenidos de materia seca superiores al 40%, lo que significa un buen suplemento alimentario para los bovinos.

El mayor contenido de nitrógeno foliar favorece la calidad del forraje; en consecuencia, las especies con alto contenido de nitrógeno deben ser tenidas en cuenta en programas de alimentación animal. En el estudio, *A. guachapele*, *E. berteroana*, *G. sepium*, *L. leucocephala*, *L. shannonii* y *M. oleifera* tuvieron los valores de N más altos (Cuadro 2). Las especies que presentaron los mayores contenidos de Ca fueron *A. niopoides*, *G. ulmifolia* y *P. dulce*. El fósforo se encontró en mayor cantidad en las especies *S. saman*, *B. alicastrum*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera*.

Por otra parte, el alto contenido de material fibroso (FDN) constituye una limitante para la preferencia por parte de los bovinos; los contenidos más altos se encontraron en *A. pennatula*, *A. guachapele*, *B. alicastrum*, *C. dentata*, *E. cyclocarpum* y *G. ulmifolia*. Los mayores porcentajes de FDA se encontraron en las especies *A. farnesiana*, *A. pennatula*, *C. dentata*, *C. alata* y *E. cyclocarpum*.

El rasgo de digestibilidad (DIVMS) más alto correspondió a las especies *B. alicastrum*, *G. sepium*, *G. ulmifolia*, *L. leucocephala* y *M. oleifera*, lo que podría indicar que estas especies poseen un excelente nivel de degradación y asimilación de nutrientes en el rumen de los bovinos. La degradación de nutrientes, especialmente nitrógeno, se podría ver afectada por las altas concentraciones de TC encontradas en *A. farnesiana*, *B. simaruba*, *C. grandis*, *M. pigra* y *P. dulce* (Cuadro 2). Sin embargo, en las pruebas de cafetería, las leñosas con mayor preferencia por consumo y tamaño de bocados correspondió a las especies *S. saman*, *L. leucocephala* y *A. niopoides*. Las leñosas menos preferidas fueron las especies con espinas *A. farnesiana* y *M. pigra* (Cuadro 2).

Criterios de preferencia evaluados

El consumo de forraje.- Los rasgos nutricionales característicos, especialmente nitrógeno y fósforo, son coincidentes en las especies preferidas (*S. saman*, *L. leucocephala*, *A. niopoides*, *C. dentata* y *M. oleifera*). Según Van Soest (1994) y Lyons y Machen (2000), la preferencia por un forraje depende de la parte de la planta, la madurez del forraje y la dureza de hojas y tallos. Así, el consumo por especie y por evento mostró diferencias significativas ($p = 0,0002$; $r^2 = 63\%$). En la Figura 2 (pag. 41) del primer artículo se detalla la preferencia de los bovinos por especies.

Las especies preferidas también tuvieron valores altos en cuanto mayor consumo y tamaño de bocado de bovinos, pues sus altos contenidos de nitrógeno y/o fósforo (Cuadro 2) las hace bastante palatables. La diversidad de especies leñosas en una pradera ofrece diferentes matices alimenticios representados en sabores, olores, tonos de colores, contenidos nutricionales, tamaño y dureza de hojas; todos estos rasgos inducen la preferencia de un bovino por una especie en particular.

Chacón y Stobbs (1976) y Tobler *et al.* (2003) afirman que el pastoreo constante reduce el valor nutricional del pastizal debido al agotamiento de las especies que, en consecuencia, son sustituidas por especies menos palatables y más fibrosas. El consumo de especies sustitutas

Cuadro 2. Matriz de rasgos funcionales de leñosas forrajeras evaluadas en el trópico seco de Nicaragua

Especies	Rasgos físicos						Rasgos nutricionales								Preferencia		
	MS	AFE	Tensión hoja	Grosor hoja	Espinas (mm)	Largo espina	N	FDN	FDA	Cenizas	Ca	P	FC	DIVMS	TC	Consumo /evento*	T. bocado
	%	cm	g	mm	unidad	cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	gMS	gMS
<i>A. collinsii</i>		12,04	700	0,020													
<i>A. farnesiana</i>	51,43	10,75	125	0,025	19,6	1,16	3,57	46,3	40,0	6,7	1,46	0,25	19,9	56,2	3,10	0,74	0,07
<i>A. pennatula</i>							1,49	54,1	42,5	5,0				65,7			
<i>A. guachapele</i>		15,97	232,5	0,021	0,0	0,0	3,84	49,6	34,7					36,3	0,00		
<i>A. niopoides</i>	46,18	11,79	1216,7	0,025	0,0	0,0	3,13	45,5	31,6	8,92	2,315	0,25	24,82	42,9	1,22	131,55	7,53
<i>S. saman</i>	37,35	14,24	865,7	0,031	0,0	0,0	3,19	42,4	31,2	5,7	1,68	0,32	29,45	44,6	0,96	165,80	7,31
<i>B. unguata</i>					0,0	0,0	2,11	42,4	26,5	7,2				34,1			
<i>B. alicastrum</i>	39,79	13,44	778,8	0,023	0,0	0,0	2,21	48,8	36,1	10,5	1,75	0,37	22,40	65,2	0,35	19,36	2,56
<i>B. simaruba</i>	24,15	15,66	435	0,022	0,0	0,0	3,59	43,90	32,40	8,4							6,33
<i>C. grandis</i>	41,62	17,87	372,9	0,025	0,0	0,0	2,50	42,8	22,2	8,0		0,25					4,70
<i>C. dentata</i>	30,05	20,96	441,7	0,026	0,0	0,0	2,88	56,0	44,1	15,4	1,86	0,22	21,00	39,1	0,00	72,34	3,53
<i>C. alata</i>	31,85				0,0	0,0	3,00		46,9								0,25
<i>E. cyclocarpum</i>	35,50	10,75			0,0	0,0	2,79	50,9	40,1	6,3	0,98	0,21			2,51		
<i>E. berteroaana</i>	41,05						3,66			8,4	1,58	0,21	33,61				
<i>G. sepium</i>	25,04	18,29	300	0,025	0,0	0,0	3,88	41,8	30,7	9,3	1,47	0,22	22,12	74,8	0,28	26,09	4,01
<i>G. ulmifolia</i>	31,97	12,89	346,9	0,042	0,0	0,0	3,05	57,9	37,2	10,5	2,35	0,38	36,25	63,9	0,05	63,26	3,66
<i>H. courbaril</i>		7,64	1497,5	0,025	0,0												
<i>L. leucocephala</i>	35,06	11,56	92,2	0,015	0,0	0,0	4,26	36,7	23,6	7,5	1,30	0,22	18,08	65,1	1,01	139,57	7,55
<i>L. shannonii</i>	50,00						0,0	3,68	41,3	27,2				55,2	0,00		
<i>M. pigra</i>	47,16	11,31	281,3	0,008	10,6	0,87	2,91	35,4	27,5	9,0	1,33	0,26	24,30	32,9	4,11	11,12	0,35
<i>M. oleifera</i>	22,47	23,63	152,5	0,018	0,0	0,0	3,71	29,4	19,2	10,9	1,88	0,32	18,50	65,2	1,02	65,77	3,52
<i>P. dulce</i>	42,15						3,10	45,2	27,0	12,5	2,51	0,09		58,4	4,54		
<i>S. mombin</i>	26,14	13,91	608,3	0,026	0,0	0,0	2,24			6,0	0,02	0,05	17,00				

MS = materia seca; AFE = área foliar específica; N = nitrógeno; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida; Ca = calcio; P = fósforo; FC = fibra cruda; DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca; TC = taninos condensados

*Evento hace referencia a pruebas de preferencia por el método de cafetería con tiempos de tres minutos cada uno.

Fuente: Pérez (2011)

también depende de la capacidad de rebrote, la calidad nutritiva, la digestibilidad y la baja presencia de elementos secundarios (Tobler *et al.* 2003). El rendimiento de forraje y su composición química podrían utilizarse para identificar especies de ramoneo preferidas por los bovinos que pudieran formar parte de los sistemas ganaderos (Larbi *et al.* 2005).

Tamaño de bocado.- El tamaño de las hojas, la succulencia o dureza de las mismas, la digestibilidad y contenidos de nitrógeno y fósforo podrían favorecer el consumo rápido, mientras que la presencia de espinas, la distribución de las hojas en las ramas, el alto contenido de fibra (FDA y FDN) y de taninos condensados podrían limitarlo.

Lyons *et al.* (2001a) y Pérez (2011) encontraron que el tamaño de bocado de bovinos en las diferentes leñosas tiene que ver con el área foliar específica, la distribución

de las hojas en la rama y la presencia de espinas. El mayor tamaño de bocado también se asocia con las porciones de forraje más gustoso (hojas), que son las que se consumen primero (Van Soest 1994, Lloyd *et al.* 2010).

L. leucocephala, *A. niopoides*, *G. sepium*, *S. saman*, *M. oleifera* al igual que *C. dentata* y *G. ulmifolia* fueron las especies preferidas. Se trata de leñosas bipinadas e imparipinadas con forrajes suaves, succulentos y bajos niveles de taninos condensados; estas especies producen grandes cantidades de biomasa, rebrotan con facilidad y tienen poca resistencia a la herbivoría, lo que favorece la preferencia por consumo. En la Figura 4 (pag. 41) del primer artículo se detallan las especies preferidas según tamaño de bocados de los bovinos.

Correlaciones entre rasgos funcionales

El rasgo de AFE no se correlacionó con la DIVMS, fuerza tensil de la hoja, ni contenido de N, en tanto que

mostró correlaciones negativas significativas ($p < 0,05$) con MS y FC (-0,76 y -0,65 respectivamente). Esto podría indicar una dependencia negativa del material fibroso sobre AFE; o sea que a medida que aumenta el AFE disminuye la proporción de fibra en el forraje y viceversa. Este rasgo, por un lado, podría favorecer la preferencia por consumo de los bovinos debido a que la disminución del material fibroso mejora la calidad del forraje, pero también podría limitar el tamaño de bocados.

No se encontró correlación significativa entre AFE y TC, pero entre N y TC se encontró una correlación positiva no significativa (0,45). Esto podría indicar que forrajes con altos contenidos de nitrógeno pudieran también tener mayores niveles de TC y, en consecuencia, influir en la preferencia por este tipo de leñosas (Cuadro 3). García y Medina (2006) y García *et al.* (2008) encontraron que el consumo de bovinos y ovinos no se relaciona con la composición química, ni tampoco con niveles de compuestos secundarios, ni con la degradabilidad ruminal, pero sí con el contenido de nitrógeno

Cuadro 3. Correlación entre rasgos físicos y nutricionales de leñosas forrajeras

RASGOS	AFE	MS	Tensión hoja	Grosor hoja	N	DIVMS	FDN	FDA	FC	Cenizas	Ca	P	TC	Consumo	T. bocado
AFE		-0,76	0,46	-0,49	0,29	0,42	-0,15	-0,15	-0,65	0,74	0,48	0,59	-0,47	0,36	0,16
Valor p		**							**	**		**			
MS			0,23	-0,97	-0,35	-0,55	0,03	0,08	0,18	-0,32	-0,14	-0,66	0,51	-0,03	0,01
Valor p				**								**			
Tensión hoja				-0,39	0,29	0,04	-0,01	-0,24	-0,37	0,49	0,13	0,48	-0,34	0,85	0,83
Valor p														**	**
Grosor hoja					0,16	-0,07	0,41	0,42	0,22	-0,28	-0,38	-0,37	-0,05	0,19	0,16
Valor p															
N						0,60	-0,36	-0,30	-0,55	-0,23	-0,28	-0,29	0,45	0,61	0,56
Valor p														**	**
DIVMS							-0,45	-0,30	-0,12	0,18	0,22	0,71	-0,57	-0,07	0,09
Valor p												**	**		
FDN								0,90	0,53	0,49	0,44	0,01	-0,88	-0,09	-0,08
Valor p									**				**		
FDA									0,28	0,44	0,24	-0,08	-0,79	-0,22	-0,27
Valor p													**		
FC										-0,10	0,02	-0,20	-0,20	0,07	-0,12
Valor p															
Cenizas											0,77	0,62	-0,58	-0,18	-0,27
Valor p											**	**			
Ca												0,56	-0,71	0,01	-0,04
Valor p												**	**		
P													-0,44	-0,27	-0,24
Valor p															
TC														-0,27	-0,28
Valor p															
Consumo															0,85
Valor p															**
T. bocado															

** ($p < 0,05$); Valor p = Valor de probabilidad; AFE = área foliar específica; MS = materia seca; N = nitrógeno; DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida; FC = fibra cruda; Ca = calcio; P = fósforo; TC = taninos condensados; Consumo = consumo de forraje de la prueba de preferencia; T. bocado = tamaño de bocado

en *G. ulmifolia* y *L. leucocephala*. El N de las leñosas se correlaciona significativamente ($p < 0,05$) con la preferencia por consumo y tamaño de bocado con valores de 0,61 y 0,56 respectivamente. Es evidente, entonces, que los contenidos nutricionales de los forrajes sí se relacionan con la preferencia de los bovinos.

El contenido de material fibroso del forraje influye en la preferencia de los bovinos. Los rasgos de FDN y FDA se correlacionaron de forma negativa y significativa ($p < 0,05$) con TC (-0,88 y -0,79 respectivamente). Sin embargo, García *et al.* (2008) no encontraron correlación entre FDN y TC. La DIVMS mostró una correlación negativa significativa con la MS ($p < 0,05$; -0,66). Esto también influye en las preferencias de los bovinos, ya que la digestibilidad del forraje disminuye con el incremento de la MS. Según García *et al.* (2008), el TC y la DIVMS se correlacionan de manera negativa y significativa ($p > 0,05$; -0,57). Lo anterior refleja que su relación es inversamente proporcional, e indica que la mayor presencia de TC disminuye la DIVMS y limita la preferencia por consumo (Cuadro 3).

Además del incremento en el material fibroso, los TC también ejercen una influencia sobre la calidad del forraje de leñosas, ya que limitan la preferencia por consumo y tamaño de bocado pues a medida que aumenta el material fibroso, disminuye el contenido de TC y viceversa. En este sentido, se podría suponer que los follajes muy suaves y succulentos tienen un mayor contenido de TC, y que en los follajes muy fibrosos ese contenido es menor (Cuadro 3). De acuerdo con García *et al.* (2008), los bajos contenidos de taninos en forrajes y el nivel bajo de fenoles totales pueden ser beneficiosos para los rumiantes si se encuentran en un rango de <2,2% de polifenoles totales y <6,0% de TC. Algunos de estos compuestos podrían influir en la productividad y la salud de los animales, ya que pueden disminuir la población de parásitos gastrointestinales (García *et al.* 2008) y aumentar el tiempo de vida productivo debido a sus propiedades antioxidantes. Es evidente, entonces, que existe un rango de aceptación en el consumo de forrajes con TC que puede ser tolerado por los bovinos.

De otro lado, los rasgos nutricionales de Ca y P foliar presentaron correlaciones positivas con AFE (0,48 y 0,59; significativo $p < 0,05$ para P), con incremento proporcional en estos rasgos. La DIVMS con P y N tuvieron correlación positiva significativa ($p < 0,05$; 0,71 y 0,60 respectivamente). Esto quiere decir que la DIVMS del forraje de las leñosas aumenta con la influencia ejercida

por los altos contenidos de P y N. Estos rasgos foliares (P, N y DIVMS) se perfilan como indicadores de calidad del forraje de las leñosas, considerando también la relación existente entre los niveles del material fibroso y de TC. Sin embargo, debido a la influencia que podría ejercer el TC sobre la degradación de la proteína (proteína encapsulada) en el rumen de los bovinos, esta relación podría convertirse en una limitación nutricional.

Wright y Westoby (1999) y Pérez (2011) consideran que la alta presencia de espinas en hojas y tallos delgados es otro factor que condiciona las preferencias de los bovinos, y que actúa como mecanismo de defensa contra la herbivoría. Otros factores limitantes mencionados por Van Soest (1994), Lyons *et al.* (2001b) y Pérez (2011) son la succulencia o dureza de hojas y tallos que se refleja en el contenido de materia seca (MS) y material fibroso. Por otra parte, se ha comprobado que la presencia de FT y otros grupos como taninos totales, polifenoles totales, saponinas, taninos hidrolizables y alcaloides inciden negativamente en el consumo voluntario y la aceptabilidad de follajes arbóreos (García y Medina 2006). En consecuencia, un desequilibrio de nutrientes o la presencia de toxinas en la dieta pueden limitar la preferencia de forrajes y su consumo o dar una sensación de saciedad a los animales. Además del aprendizaje y tolerancia que generan los bovinos al consumir leñosas con rasgos fibrosos y elementos “antinutricionales”, tal como sucede en condiciones de escasez de forraje durante la época seca, los induce al cambio de sus patrones de consumo; incluso pueden llegar a ingerir gran cantidad de plantas lignificadas o con elementos secundarios (Sandoval-Castro *et al.* 2005, Pinto *et al.* 2010).

Asociación de rasgos funcionales

En la Figura 1 se muestra el agrupamiento de rasgos físicos y nutricionales de las leñosas evaluadas. Se evidencia la asociación de los rasgos AFE, DIVMS y minerales con *G. sepium*, *C. dentata* y *M. oleifera*. Los TC se relacionan en mayor proporción con las leñosas con espinas *A. farnesiana* y *M. pigra*. El rasgo de grosor de hoja está ligado a los contenidos fibrosos: FDN y FDA se relacionan con *G. ulmifolia* y *B. alicastrum*. N y dureza de la hoja se relacionan con las variables de consumo, las cuales se asocian a las especies con AFE baja, hojas de mayor dureza y rusticidad; este rasgo funcional se observa en las especies *A. niopoides* y *L. leucocephala*.

En resumen, se podría afirmar que los bovinos prefieren especies leñosas con menor AFE y bajos contenidos de TC.

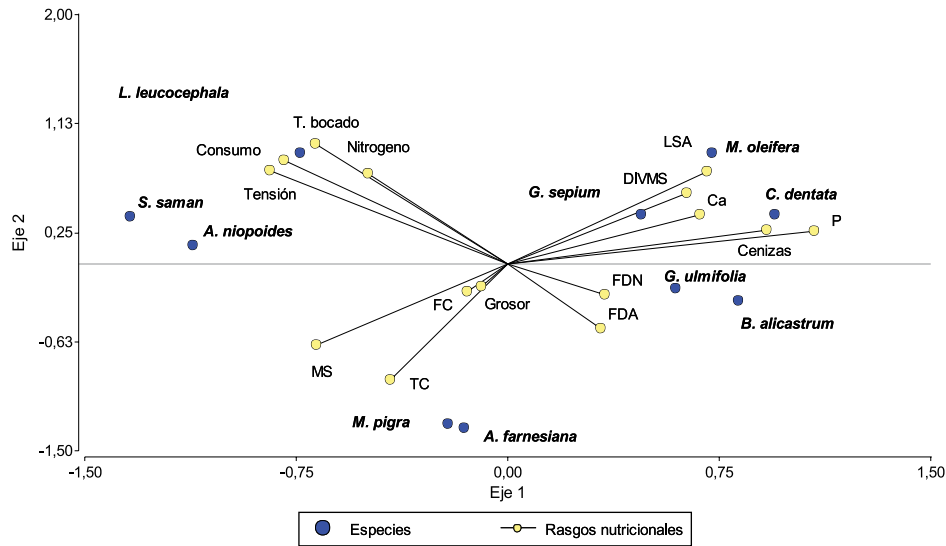


Figura 1. Asociación de rasgos nutricionales y foliares con especies

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En especies leñosas forrajeras, los rasgos foliares fósforo, nitrógeno y la DIVMS se perfilan como indicadores de la calidad nutricional del forraje.

Albizia niopoides, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Samanea saman*, *Moringa oleifera*, *Cordia dentata* y *Guazuma ulmifolia* muestran las mejores características funcionales que se debieran considerar en sistemas ganaderos en zonas secas.

En la selección de especies leñosas para sistemas de alimentación bovina en zonas secas se debe profundizar y entender la diversidad funcional de las comunidades de especies con potencial forrajero. Es necesario ampliar la medición de rasgos relacionados con la fisiología, adaptación y patrones fenológicos de las especies; además, se debe conocer el manejo agronómico, métodos de propagación y capacidad de rebrotes de un alto número de especies, debido a que variables ambientales (régimen hidrológico, calidad de agua, suelo y biota) y variables meteorológicas (temperatura, vientos, presión atmosférica, radiación solar, humedad relativa y precipitación) influyen en el nivel de expresión de características deseables y sustentables para los sistemas ganaderos.

BIBLIOGRAFÍA

Balzarini, M; González, G; Tablada, E; Casanoves, F; Di Rienzo, J; Robledo, C. 2010. InfoStat: Manual del Usuario. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba Grupo InfoStat, FCA. 334 p.

Cornelissen, JHC; Lavorel, S; Garnier, E; Diaz, S; Buchmann, N; Gurvich, DE; Reich, PB; Steege, H; Morgan, HD; Van Der Heijden, MGA. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany 51(4):335-380. Disponible en <http://www.cedarcreek.umn.edu/biblio/fulltext/t1936.pdf>

Chacón, E; Stobbs, TH. 1976. Estimation of herbage consumption by grazing cattle using measurements of eating behaviour. Grass & Forage Science 31(2):81-87.

Díaz, S; Lavorel, S; Cornelissen, J; McIntyre, SUE; Falczuk, V; Casanoves, F; Milchunas, DG; Skarpe, C; Rusch, GM; Sternberg, M; Noy-Meir, I; Landsberg, J; Zhang, WEI; Clark, H; Campbell, BD. 2007. Plant trait responses to grazing – a global synthesis. Global Change Biology 13(2):313-341. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01288.x>

Fernández, F. 2007. Tipos funcionales de árboles en bosques muy húmedos tropicales del norte de Costa Rica: Aporte de los rasgos foliares y de tallo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 97 p.

García, DE; Medina, MG. 2006. Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. Zootecnia Trop 24(3):233.

García, DE; Medina, MG; Cova, LJ; Soca, M; Pizzani, P; Baldizán, A; Domínguez, CE. 2008. Aceptabilidad de follajes arbóreos tropicales por vacunos, ovinos y caprinos en el estado Trujillo, Venezuela. Zootecnia Tropical 26(3):191-195. Disponible en http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000300006&lng=es&nrm=iso.

- Kattan, G; Guariguata, M. (eds.). 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago, Costa Rica, Ediciones LUR. 692 p.
- Larbi, A; Anyanwu, NJ; Oji, UI; Etela, I; Gbaraneh, LD; Ladipo, DO. 2005. Fodder yield and nutritive value of browse species in west African humid tropics: response to age of coppice regrowth. *Agroforestry Systems* 65:197–205.
- Lavorel, S; Garnier, E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16(5):545-556.
- Lavorel, S; Díaz, S; Cornelissen, J; Garnier, E; Harrison, S; McIntyre, S; Pausas, J; Pérez-Harguindeguy, N; Roumet, C; Urcelay, C. 2007. Plant functional types: are we getting any closer to the Holy Grail? *Terrestrial ecosystems in a changing world*: 149-164.
- Lyons, RK; Machen, RV. 2000. Interpreting grazing behavior. *AgriLIFE Extensión* L-5385(10):6. Disponible en http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86955/pdf_1317.pdf?sequence=1
- Lyons, RK; Machen, R; Forbes, TDA. 2001a. Entendiendo el consumo de forraje de los animales en pastizales. *Cooperativa de Texas "Extensión" E-100s(6):6*. Disponible en <http://fmvz.uat.edu.mx/5BA864D3-8ECB-425E-8351-09F605802271/FinalDownload/DownloadId-1B95C5B53CF9154F8D3CD44882FBEA5A/5BA864D3-8ECB-425E-8351-09F605802271/Ganaderia%5CMANEJO%20DE%20PASTIZALES%5C15862284-E100S.pdf>
- Lyons, RK; Machen, R; Forbes, TDA. 2001b. ¿Por qué cambia la calidad del forraje de los pastizales? *AgriLIFE Extensión E-99s(7-01):6*. Disponible en https://agri-lifebookstore.org/tmppdfs/viewpdf_1488_72442.pdf?CFID=7066016&CFTOKEN=dacc4ab665682793-74320009-9FC0-21B4-335E9B882793133D&jsessionid=90309b1374670eb485d05b2d6f593d395c69
- Lloyd, KM; Pollock, ML; Mason, NWH; Lee, WG. 2010. Leaf trait-palatability relationships differ between ungulate species: evidence from cafeteria experiments using naïve tussock grasses. *New Zealand Journal of Ecology* 34(2):219-226.
- Pérez, N. 2011. Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el departamento de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 126 p.
- Petchey, O; Hector, A; Gaston, K. 2004. How do different measures of functional diversity perform. *Ecology* 85(3):847-857.
- Pinto, R; Hernández, D; Gómez, H; Cobos, MA; Quiroga, R; Pezo, D. 2010. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: usos y características nutricionales. *Universidad y Ciencia* 26(1):19-31.
- Reich, PB; Wright, IJ; Cavender-Bares, J; Craine, JM; Oleksyn, J; Westoby, KM; Walters, MB. 2003. The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies. *International Journal Plant Science* 164(Supl):S143-S164.
- Ricotta, C. 2005. A note on functional diversity measures. *Basic and Applied Ecology* 6:479-486.
- Sandoval-Castro, CA; Lizárraga-Sánchez, HL; Solorio-Sánchez, FJ. 2005. Assessment of tree fodder preference by cattle using chemical composition, *in vitro* gas production and *in situ* degradability. *Animal Feed Science and Technology* 123-124(Part 1):277-289. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T42-4G9Y4P2-1/2/e01c2e931cc0185c57e-06ce54b9d5312.pdf>
- Tobler, MW; Cochar, R; Edwards, PJ. 2003. The impact of cattle ranching on large-scale vegetation patterns in a coastal savannah in Tanzania. *Journal of Applied Ecology* 40(3)430-444. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00816.x>
- Van Soest, PJ. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2 ed. Cornell Univ. Press.
- Westoby, M; Falster, DS; Moles, AT; Vesk, PA; Wright, IJ. 2002. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33:125-159. Disponible en www.jstor.org/stable/3069259
- Wright, IJ; Westoby, M. 1999. Differences in seedling growth behaviour among species: trait correlations across species, and trait shifts along nutrient compared to rainfall gradients. *Journal of Ecology* 87(1):85-97. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00330.x>

Avances de Investigación

Estrategias de los árboles para el uso eficiente del agua y tolerancia a la sequía en sistemas silvopastoriles¹

Pilar Bucheli²; Tamara Benjamin³, Graciela M. Rusch⁴; Muhammad Ibrahim⁵, Pere Casals⁶; Dalia Sánchez⁷, Francisco Pugnaire⁸

RESUMEN

La adquisición de recursos del suelo por las plantas depende de la especie, las características del suelo y de otros factores del medio ambiente local. El fin de este estudio fue conocer la distribución y los tipos de rasgos radiculares asociados en la relación suelo-agua-planta y las estrategias de las especies para adquirir y conservar los recursos en ambientes con variaciones climáticas cíclicas de sequía y lluvia. Se determinaron los patrones de densidad de raíces finas, la longitud específica radicular y la longitud volumétrica a distintas profundidades del suelo y de posición bajo la copa de seis especies arbóreas: *Albizia saman*, *Guazuma ulmifolia*, *Coccoloba caracasana*, *Tabebuia rosea*, *Crescentia alata* y *Enterolobium cyclocarpum* en fincas con sistemas silvopastoriles de Rivas, Nicaragua. Se extrajeron y analizaron muestras de suelo-raíz; los datos se analizaron con el programa WinRhizo. De acuerdo con los rasgos radiculares de las especies, se conformaron cuatro tipos funcionales de plantas (TFP) en la época seca y tres en la época de lluvias. Los TFP se relacionan con estrategias adquisitivas y conservadoras de los recursos según la estacionalidad climática. *C. caracasana*, con valores altos de longitud y densidad radicular en la época seca, presenta una estrategia de conservación que le permite almacenar reservas y soportar la sequía. *A. saman*, *E. cyclocarpum* y *G. ulmifolia*, con valores bajos de densidad radicular fina que se asocian a una estrategia adquisitiva, tienen mayor accesibilidad a los recursos y humedad del suelo.

Palabras claves: Árboles dispersos, estacionalidad climática, raíces, recursos del suelo, trópico seco, Rivas, Nicaragua.

ABSTRACT

Tree strategies for water use and drought tolerance in silvopastoral systems

The acquisition of soil resources depends on the tree species, soil characteristics, and local environment. The purpose of this study was to determine the distribution of root traits associated within the soil-water-plant relationships and the species strategies to acquire and conserve resources during cyclical climate variations of drought and rain. Patterns of fine root density, specific root length, and volumetric root length at different soil depths and positions under the canopy of six tree species (*Albizia saman*, *Guazuma ulmifolia*, *Coccoloba caracasana*, *Tabebuia rosea*, *Crescentia alata* and *Enterolobium cyclocarpum*) were explored on farms with silvopastoral systems in Rivas, Nicaragua. Root-soil samples were taken and the data were subsequently analyzed with the program WinRhizo. According to the interdependence of root traits and strategies related to resource acquisition or conservation, four plant functional types (PFT) were formed in the dry season and three PFT in the rainy season. *C. caracasana*, with high values for root length and density in the dry season, showed a conservative strategy for storing reserves and tolerating drought. *A. saman*, *E. cyclocarpum* and *G. ulmifolia*, with a low fine root density associated with an acquisitive strategy, showed easy access to soil resources and moisture.

Keywords: Scattered trees, climatic seasonality, roots, soil resources, dry tropics, Rivas, Nicaragua.

¹ Basado en Bucheli (2012).

² Mag. Sc. en Agroforestería Tropical, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: pbucheli@catie.ac.cr

³ Botany and plant Pathology/Forestry and Natural Resources Dept. Purdue University. Correo electrónico: tamara17@purdue.edu

⁴ Norwegian Institute for Nature Research (NINA), Trondheim, Norway, correo electrónico: graciela.rusch@nina.no

⁵ Representante Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Belice. Correo electrónico: mibrahim@catie.ac.cr

⁶ Ecology and management of silvopastoral systems, Centro Tecnológico Forestal de Cataluña (CTFC), Ctra de St. Llorenç de Morunys, km 2, 25280 Solsona, Spain. Correo electrónico: pere.casals@ctfc.es

⁷ Investigadora Programa Ganadería y Manejo del Medio Ambiente, CATIE, Nicaragua. Correo electrónico: dsanchez@catie.ac.cr

⁸ Estación Experimental de Zonas Áridas Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Ctra. Sacramento s/n E-04120 La Cañada, Almería, España. Correo electrónico: fip@eeza.csic.es

INTRODUCCIÓN

El agropaisaje del sur de Nicaragua corresponde al 34% del territorio nacional (Wafra 2007), con elementos del bosque seco natural y producción agrícola y ganadera (Rusch *et al.* 2010). Esta producción es susceptible a los impactos del cambio climático (aumento de las temperaturas e intensificación de los eventos de lluvias y de los períodos de sequía) debido a su alta dependencia y sensibilidad a las variaciones del clima (Ospina *et al.* 2012). En la ganadería, el impacto del cambio climático implica una menor disponibilidad de alimento y forrajes, lo que genera vulnerabilidad (Thomas *et al.* 2007). En Rivas, Nicaragua, los productores manejan la ganadería con sistemas silvopastoriles, como árboles dispersos en potreros y cercas vivas (Ineter 2010). Las especies leñosas de SSP contribuyen a la generación de servicios ecosistémicos, como el uso eficiente del agua y la tolerancia a la sequía, y pueden responder de forma compleja a la variación climática. Así, el sistema radicular de estas plantas leñosas ha desarrollado adaptaciones en los diferentes gradientes ambientales (Kursar *et al.* 2009, Liu *et al.* 2010). Por ejemplo, la densidad y longitud de las raíces finas puede cambiar para tolerar o evitar los efectos de las sequías temporales y cíclicas (Olivero 2011). Estos mecanismos se relacionan con las estrategias de adquisición de recursos (agua y nutrientes) (Jackson *et al.* 1997, Morales 1997, Ostonen *et al.* 2007, Raats 2007).

Las raíces cumplen funciones fisiológicas fundamentales en la planta, como la absorción y asimilación de nutrientes y agua (Jensen 1994, Morales 1997, Flores 1999). Las raíces finas son una de las estructuras más dinámicas y activas de la planta, en tanto que las raíces leñosas o perennes se encargan del soporte mecánico y proveen la red de conducción de las sustancias asimiladas por las raíces finas en micrositos del suelo (Morales 1997). En este sentido, la dinámica espacial y temporal del sistema radicular de las plantas ha generado gran interés, pues se sabe poco sobre el comportamiento de las raíces finas y el papel que desempeñan en la relación suelo-agua-planta, particularmente por la dificultad metodológica que implica su estudio (Escamilla *et al.* 1991).

Esta investigación tuvo como objetivo investigar los patrones de distribución de la densidad y longitud específica de raíces finas de distintas especies arbóreas presentes en SSP del trópico seco nicaragüense. Se considera que las raíces finas tienen que ver con las estrategias adquisitivas o conservadoras de recursos de la planta y responden a patrones generales de

disponibilidad de agua en el suelo. Se espera que la información generada sea un insumo para proponer arreglos silvopastoriles diversos y acordes a las condiciones socioeconómicas de Nicaragua.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó con árboles dispersos en potreros del municipio de Belén (Rivas, Nicaragua). El área se caracteriza por una sequía estacional entre noviembre y abril, por lo que la vegetación ha debido adaptarse a un largo período de déficit hídrico (Alvarado *et al.* 2009, Ramírez *et al.* 2010). La precipitación promedio durante los últimos 30 años ha sido de 25,5 mm mensuales y la temperatura promedio de 24,9°C (Ineter 2012). En la estación lluviosa (mayo – octubre), la precipitación media mensual alcanza 216,2 mm (Ineter 2012). Los sitios de estudio estuvieron ubicados entre 100 y 200 msnm, en dos tipos de suelos: vertisoles y molisoles (Buurman y Hoosbeek 2009, Sánchez *et al.* 2004).

Para la selección de las seis especies arbóreas a evaluar (*Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Crescentia alata*, *Tabebuia rosea*, *Albizia saman* y *Coccoloba caracasana*) se utilizaron los siguientes criterios: a) abundancia y frecuencia de árboles aislados en potreros para tener un número suficiente de repeticiones; b) árboles en terreno plano o ligeramente ondulado para evitar sesgos por topografía; c) potreros con más de ocho meses sin disturbios del suelo por caminos, paso de ganado, manejo agropecuario u otra actividad agrícola establecida; d) determinación de la perennidad o caducidad de las hojas según la época climática; e) existencia de estudios anteriores en la misma zona. Para cada especie seleccionada se utilizaron cinco repeticiones, con un total de 30 individuos muestreados.

El contenido de humedad del suelo se determinó mediante el método gravimétrico en el Laboratorio de suelos de la Escuela Internacional de Agricultura y Ganadería (EIAG) de Rivas. Se tomaron muestras de suelo de aproximadamente 100 g de peso a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm) bajo la copa de los árboles en los puntos 50% y 100% del radio de la copa (Figura 1). También se estimó la densidad aparente mediante el método del cilindro (Henríquez y Cabalceta 1999). Las muestras se recolectaron en los mismos sitios donde se realizó el muestreo de contenido de humedad del suelo. Además, se evaluó la composición botánica de especies herbáceas (pastos y herbáceas de hoja ancha) en cada anillo ubicado al 25, 50, 75 y 100% del radio, bajo la copa del árbol (Figura 1); para ello se hizo un muestreo al

azar con un marco cuadrado de 50 x 50 cm que permitió registrar la cobertura porcentual de especies herbáceas dentro del marco.

Para la determinación de la densidad de raíces finas vivas se colectaron muestras de suelo-raíces por medio de un barreno con volumen de 1256,6 cm³ (cilindro de 8 cm de diámetro por 25 cm de longitud). Las muestras se tomaron en dos momentos estacionales (periodo de lluvias y periodo seco) y a las distancias indicadas en la Figura 1. El procesamiento de las muestras fue el siguiente: prelavado, lavado, identificación y selección de las raíces arbóreas y de pasturas, escaneo con el equipo HPJET 6200, con resolución de 100 dpi y 24 bits de profundidad de campo. Se analizaron las imágenes con el programa WinRHIZO *Arabidopsis* 2012a (Regent Instruments Inc., Quebec, Canadá). Después del escaneo, las muestras se empacaron en bolsas de papel previamente codificadas y se secaron a 65°C durante 48 horas.

Análisis estadístico

Se empleó estadística descriptiva (media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación mínima y máxima) para todas las variables. El nivel de significación considerado fue $p \leq 0,05$. El diseño estadístico fue de parcelas sub-sub-sub-divididas; las épocas estacionales (lluviosa y seca) constituyeron la parcela principal; cada individuo muestreado fue la subparcela 1; los cuatro puntos de muestreo bajo la copa fueron la subparcela 2 y las dos profundidades (0-20 y 20-40 cm) fueron la subparcela 3. Se utilizó el análisis de modelos mixtos para comparar las diferencias entre las especies y una prueba de diferencias de Fisher (LSD). Asimismo, se realizó un análisis de conglomerados con el objetivo de agrupar a las especies a partir de los rasgos funcionales por medio del método de *Ward* y la distancia *Euclidea*. Se utilizó un análisis de componentes principales con el fin de analizar la interdependencia entre los rasgos funcionales y los tipos funcionales de plantas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el *software* estadístico InfoStat, actualización 2011 (Di Rienzo 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Componentes del suelo

La densidad aparente del suelo bajo las seis especies estudiadas fue de 1,1 g cm³; valor considerado como muy suelto (1-1,2 g cm³) en una clase textural franca-arcillosa a arcillosa (Ad-hoc-AG-Boden 2005); no hubo diferencias significativas entre las especies ($p = 0,3633$). En el contenido de humedad se encontraron diferencias significativas entre épocas climáticas ($p < 0,0001$); el contenido

de humedad en época de lluvia fue de 42,72% vs. 14,25% en época seca. Además, se encontró un efecto significativo de la interacción entre especie y profundidad del suelo ($p = 0,014$) para la humedad de suelo. Estas interacciones se observaron en la época lluviosa, cuando todas las especies mostraron diferencias significativas entre las dos profundidades. En la época seca no hubo diferencias entre especie ni entre profundidades (Figura 2).

El contenido de humedad del suelo refleja la dinámica del agua, especialmente en la época de lluvias y con las profundidades de suelo muestreadas. Zapata (2010) encontró la misma variabilidad debido a la influencia de las precipitaciones en la época de lluvia. También, encontró una menor humedad del suelo en pastizales asociados con *Cassia grandis* (26,4%), en comparación con *G. ulmifolia* (35,5%) y *T. rosea* (33,3%). En nuestro estudio, *A. saman* (57,1%) y *E. cyclocarpum* (55,51%) presentaron un mayor contenido de humedad en la profundidad de 0-20 cm que a los 20-40 cm. Es de suponer que este resultado tiene que ver con el porcentaje de transferencia de agua de lluvia a través de la copa. Según Miranda (2012), *E. cyclocarpum* (84%) y *A. saman* (67%) son las especies que mayor cantidad de agua transfieren desde la copa al suelo. *A. saman* presenta un movimiento de sus hojas (cierre de hojas en días nublados y días lluviosos, así como en horas de la noche) que podría favorecer el paso de las gotas de lluvia a través de la copa del árbol (World Agroforestry Center 2010). La alta densidad de copa, además, influye en la baja evaporación del agua y aumenta la cantidad de horas de sombra bajo la copa (Olivero 2011). Nuestros resultados apoyan la hipótesis de que las distintas especies arbóreas afectan el contenido de humedad del suelo de manera diferente.

En cuanto a la composición botánica, el análisis de correspondencia muestra que las especies arbóreas se

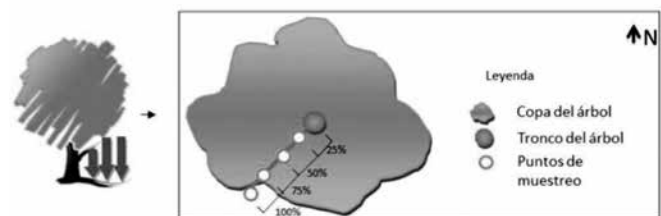


Figura 1. Sitios definidos para la toma de muestras de contenido de humedad del suelo, densidad aparente, composición botánica de especies herbáceas y rasgos de raíces finas bajo la copa de las seis especies de árboles dispersos en SSP en Rivas, Nicaragua

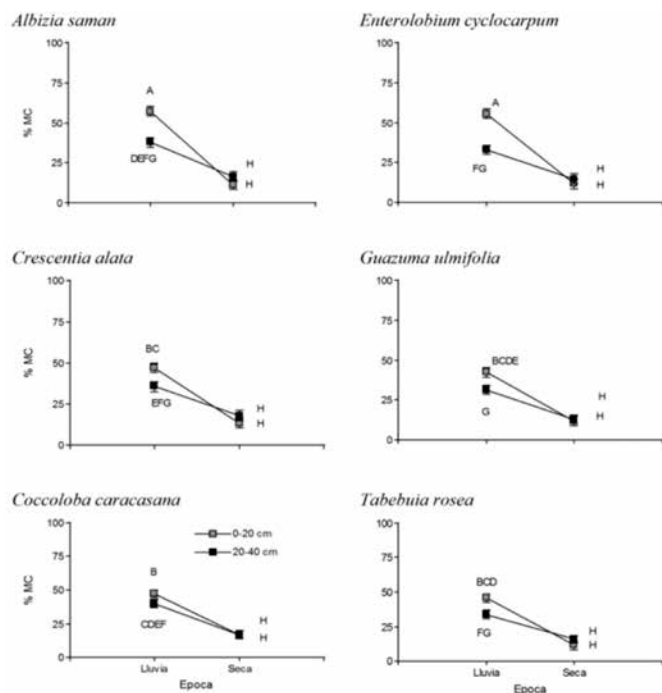


Figura 2. Contenido de humedad bajo la copa de seis especies arbóreas en dos épocas y profundidades del suelo en SSP de Rivas, Nicaragua

Las barras indican el error estándar. Importancia para LSD de Fisher $p < 0,05$ (letras diferentes indican diferencias entre profundidades)

asocian con distintas especies herbáceas (se encontraron 56 especies herbáceas de cobertura). *C. alata* se separa del grupo de especies leñosas, pues se asocia sólo con el 10,7% del total de herbáceas encontradas en el área de estudio. Según Zapata (2010), la cobertura de especies herbáceas es similar bajo árboles de *T. rosea* y *G. ulmifolia* en un agropaisaje ganadero de la zona central de Nicaragua. En nuestro estudio encontramos que *A. saman* y *C. caracasana* presentan una similitud en la cantidad de especies herbáceas asociadas, al igual que *T. rosea*, *E. cyclocarpum* y *G. ulmifolia*.

Rasgos de raíces finas

La longitud radicular fue mayor en la época seca que en la de lluvias ($p = 0,002$). Al analizar todas las especies en conjunto, la longitud fue de 13,0 y 10,0 cm/cm³ para la época seca y de lluvia, respectivamente; también hubo un efecto significativo de la interacción de la especie con la profundidad del suelo ($p < 0,0001$). Las especies mostraron mayor longitud de raíces finas (13,2 vs. 10,7 cm/cm³) en la profundidad de 0-20 cm. *C. caracasana* presentó los valores de longitud radicular más altos, en tanto que *C. alata* presentó los más bajos en las dos pro-

fundidades (Cuadro 1). La longitud de las raíces finas de *T. rosea* disminuyó en forma marcada con la profundidad (Cuadro 1). Este resultado coincide con los altos contenidos de humedad en la profundidad 0-20 cm para todas las especies, lo que evidencia una correspondencia positiva entre la longitud de las raíces y la humedad en el suelo. Makita *et al.* (2011) obtuvieron resultados similares, además de una gran concentración de raíces finas de árboles en las capas superficiales del suelo: aproximadamente 12,9 veces superior en el estrato superficial (0-10 cm y 20-40 cm) que en las profundidades de 40 y 50 cm (9,3 veces).

La densidad de raíces finas (DRF) fue afectada por interacciones entre la época climática, las especies y la posición bajo la copa ($p = 0,037$). Sin embargo, hubo una respuesta general de la DRF a la estación climática. En conjunto, las especies tuvieron mayores DRF en época de lluvias (0,9 vs. 0,7 g/cm³). Este resultado apoya la hipótesis de que hay diferencias de densidad de raíces finas entre épocas climáticas (mayor densidad en época lluviosa), ya que un ambiente más húmedo favorece la densidad de raíces y la disponibilidad de nutrientes. Rytter y Rytter (2012) demostraron que, al aumentar la humedad del suelo, la densidad de raíces finas de *A. incana* se incrementó de 2,29 a 3,41 g/dm³ y de 0,55 a 0,76 g/dm³ la de *S. viminalis*.

De acuerdo con la posición bajo la copa, *T. rosea* presentó mayor DRF en la posición del 25% (1,5 g/cm³) en la época de lluvias. Las especies con menor DRF fueron *A. saman* y *C. caracasana* (0,4 g/cm³) en el 100% de la copa, aunque en la posición del 25% de la copa, en la época seca, ambas especies presentaron mayor densidad (Figura 3). Este resultado confirma que la DRF es mayor cerca del fuste y disminuye con la distancia hacia el perímetro de la copa. Olsthoorn *et al.* (1999) y Catalin *et al.* (2011) encontraron una relación negativa entre la biomasa de raíces finas y la distancia al tronco de árbol debido a la heterogeneidad estructural en la distribución de las raíces finas y al patrón específico de enraizamiento de las especies (Comas y Eissenstat 2004).

Las especies mostraron diferencias en DRF en profundidad, a excepción de *T. rosea* y *C. alata*. La DRF fue mayor en la capa superficial (0,9 g/cm³ vs. 0,6 g/cm³ para 0-20 y 20-40 cm, respectivamente) ($p < 0,0001$). La densidad más alta fue para *C. caracasana* en la profundidad de 0-20 cm (1,24 g/cm³) y la más baja es para *C. alata* en la profundidad 20-40 cm (Cuadro 2). Otros estudios han

demostrado este mismo comportamiento, ya que el contenido de arcilla, la humedad, el contenido de nutrientes y temperatura juega un papel importante especialmente en la capa superficial del suelo. Rodríguez (2011) encontró diferencias en cantidades de nutrientes en los suelos debajo de *G. ulmifolia* y *C. alata* y entre profundidades. Las raíces finas responden muy rápidamente a los cambios en dichas características y condiciones del suelo (Pregitzer *et al.* 1998, Joslin *et al.* 2006, Majdi *et al.* 2008).

La longitud radicular específica (LRE) responde a la interacción entre época estacional, especie y profundidad ($p = 0,0004$). En general, la LRE fue mayor a 20-40 cm de profundidad. En la época lluviosa, la especie que presentó mayor LRE fue *A. saman* a 20-40 cm (0,77 cm mg) y *E. cyclocarpum* fue la de menor LRE en la capa de 0-20 cm del suelo. En la época seca, *G. ulmifolia* mostró diferencias entre las dos profundidades: 0,16 en la capa 0-20 cm y 0,51 cm mg a 20-40 cm (Figura 4).

Tipos funcionales de plantas y estrategias de vida

Las seis especies arbóreas estudiadas se agruparon en tipos funcionales a partir de los rasgos de las raíces finas. Para la época de lluvia se conformaron tres tipos funcionales de plantas (TFP1: *T. rosea*, *E. cyclocarpum* y *C. alata*; TFP2: *C. caracasana*; TFP3: *G. ulmifolia* y *A. saman*). Para la época seca se conformaron cuatro TFP (TFP1: *E. cyclocarpum*, *G. ulmifolia* y *A. saman*; TFP2: *C. caracasana*; TFP3: *C. alata*; TFP4: *T. rosea*). La interdependencia entre rasgos funcionales de raíces finas y los tipos funcionales de plantas se muestra en la Figura 5. *C. caracasana* y *C. alata* parecieran ser las especies que más contribuyen a la diferenciación a lo largo del segundo eje; los rasgos asociados a estas diferencias son longitud de raíces y DRF para la primera especie y LRE para la segunda.

Las especies presentan distintas estrategias o conjuntos de atributos radiculares que les permiten utilizar los recursos agua y nutrientes. Tales estrategias responden a los niveles característicos de humedad en el suelo y, con ello, a la disponibilidad de nutrientes de un sitio (Grime *et al.* 1997). Las estrategias de vida de las plantas se relacionan también con el cambio de condiciones a lo largo de un año y con las características climáticas regionales. De esta manera, el TFP1 en la época de lluvia se relaciona con valores bajos de longitud de raíces finas y con valores levemente altos de LRE (Figura 5a). En la época seca, *E. cyclocarpum* comparte atributos con las especies del TFP1 de la época lluviosa (Figura 5b), que se asocian con bajos valores de LRE y de DRF. Los valores

Cuadro 1. Longitud de raíces finas (cm/cm³) de seis especies arbóreas en dos profundidades de suelo en sistemas silvopastoriles de Rivas, Nicaragua (importancia para LSD de Fisher $p < 0,0001$)

Especie	Profundidad	
	0-20	20-40
<i>Coccoloba caracasana</i>	17,63A	15,82AB
<i>Albizia saman</i>	15,09ABC	13,07CD
<i>Tabebuia rosea</i>	14,47BC	8,98EFG
<i>Guazuma ulmifolia</i>	12,82CD	10,26EF
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	11,57DE	9,38EFG
<i>Crescentia alata</i>	7,63FG	6,85G

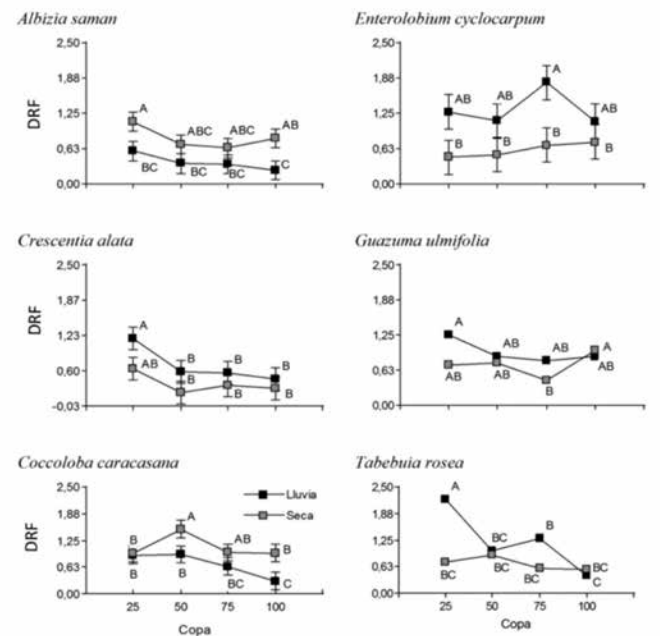


Figura 3. Densidad de raíces finas (DRF, g/cm³) de seis especies arbóreas según posición bajo la copa (25, 50, 75 y 100%) y época climática en SSP de Rivas, Nicaragua

Las barras indican un error estándar. Importancia para LSD de Fisher $p < 0,05$ (letras diferentes, diferencias entre posición bajo la copa)

altos de LRE se interpretan como una buena capacidad de exploración rápida de los recursos en el suelo para sostener altas tasas de actividad metabólica (Ostonen *et al.* 2007, Reich *et al.* 1999). Por la funcionalidad del rasgo LRE, es de suponer que *A. saman* y *G. ulmifolia* extraen humedad activamente cuando el nivel de disponibilidad en el suelo es alto, aunque *A. saman* la extrae del horizonte superficial en tanto que *G. ulmifolia* la extrae del horizonte profundo. Por consiguiente, en este

Cuadro 2. Densidad de raíces finas (g/cm^3) de seis especies arbóreas en dos profundidades de suelo en SSP de Rivas, Nicaragua (importancia para LSD de Fisher $p < 0,0001$)

Especie	Profundidad	
	0-20	20-40
<i>Coccoloba caracasana</i>	1,24A	0,54B
<i>Albizia saman</i>	0,73A	0,46B
<i>Tabebuia rosea</i>	0,97E	0,94E
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,98E	0,69F
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1,09C	0,84D
<i>Crescentia alata</i>	0,62A	0,45A

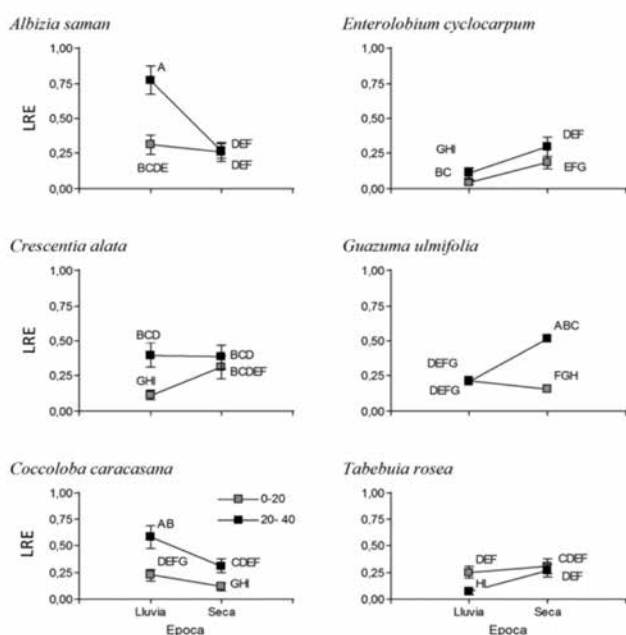


Figura 4. Longitud radicular específica (LRE cm/mg) bajo la copa de seis especies arbóreas de acuerdo a la época climática y la profundidad de suelo en SSP de Rivas, Nicaragua, 2011. Las barras indican error estándar. Importancia para LSD de Fisher $p < 0,05$ (letras diferentes, diferencias entre profundidades)

grupo de especies se mantiene un mejor estatus hídrico para mantener un mayor crecimiento activo en momentos de alta disponibilidad de recursos, alta humedad del suelo, fertilidad, materia orgánica y oferta de nitrógeno (Bingham y Bengough 2003). La alta densidad de raíces puede interpretarse como una estrategia de adaptación para hacer frente a la disminución de la humedad y al secado del suelo, ya que este atributo les confiere a las especies la capacidad de explorar un mayor volumen de suelo (Padilla *et al.* 2007) y, por ende, aumentar el

potencial de extraer humedad, especialmente en la capa superficial del suelo. En la época de lluvias, la disponibilidad de nutrientes es, presumiblemente, más elevada debido a que la humedad estimula la actividad biológica en el suelo y, con ello, la mineralización de nutrientes y su adquisición por las raíces (Hodge 2004, Reich *et al.* 1998). Todos estos comportamientos ligados a los rasgos de longitud radicular específica y densidad de raíces finas se asocian con la estrategia adquisitiva adoptada por el TFP1.

Coccoloba caracasana presenta la mayor longitud radicular y densidad de raíces finas. La LRE se relaciona con la habilidad de la planta para obtener recursos del suelo (Escamilla *et al.* 1991). También existe una relación del contenido de humedad del suelo con la profundidad de elongación y enraizamiento. Esto hace que las raíces finas en la superficie del suelo aumenten la actividad fisiológica debido a que son estructuras cruciales para la captación de recursos. Por su alta densidad de copa, *C. caracasana* ofrece buena sombra que reduce la evaporación de agua en el suelo (Olivero 2011), lo cual puede explicar el ligero mayor contenido de humedad en la época seca. El mantenimiento de raíces activas en un suelo moderadamente seco puede mejorar el nivel de agua interna de la planta por medio de un uso eficiente de la humedad del suelo (Prieto *et al.* 2012). Esta condición le confiere a la especie un mejor nivel y regulación hídrica en los períodos de escasez de humedad, le permite mantener un cierto grado de actividad de la planta y, por ende, una actividad fotosintética por lapsos más prolongados durante la época seca (Valladares *et al.* 2004). Estos mecanismos responden a una estrategia que permite captar agua en períodos de alta y baja disponibilidad. De acuerdo con los mecanismos empleados a lo largo de los dos periodos climáticos, el TFP2 combina la estrategia adquisitiva en la época de lluvia (abundancia de agua) con la estrategia conservadora en momentos de escasez.

En la época lluviosa, el TFP3, formado por *T. rosea*, *E. cyclocarpum* y *C. alata*, se asocia con valores bajos de LRE. Estas especies adoptan una estrategia adquisitiva mediante un desarrollo mayor de raíces en profundidad. La humedad del suelo proporcionada por la lluvia es un factor que juega un papel dominante en el desarrollo y crecimiento del sistema radicular (Comas y Eissenstat 2004, Tsutsumi *et al.* 2002) Esta humedad conlleva una alta actividad radicular y, consecuentemente, una alta inversión de recursos y actividad metabólica de la planta.

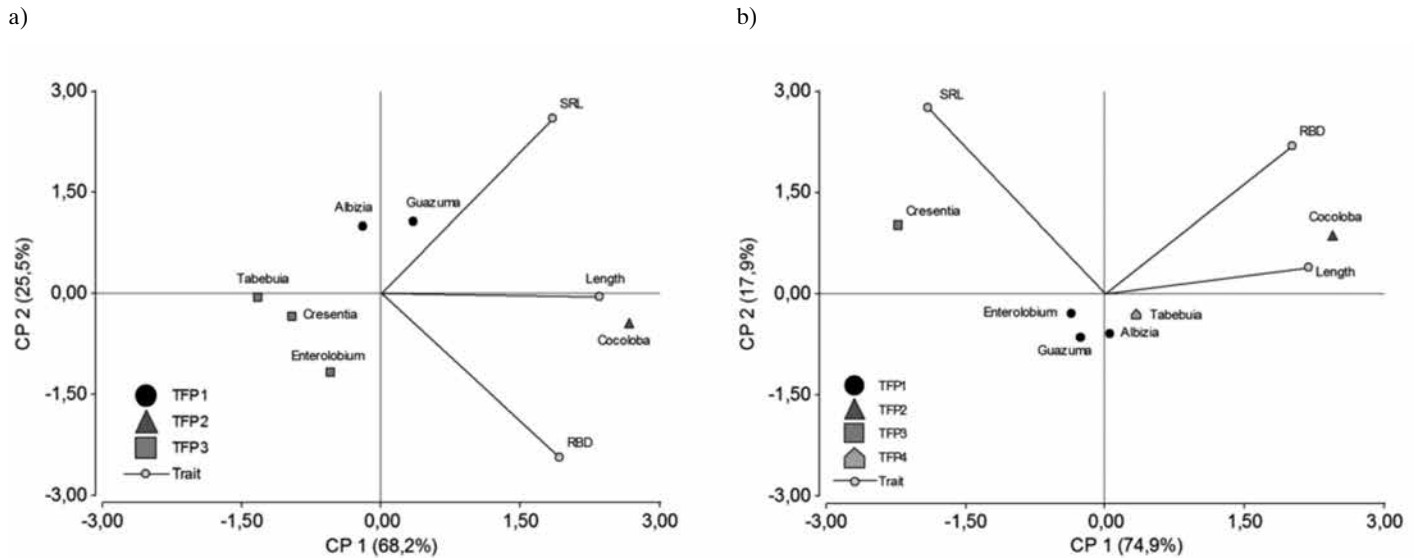


Figura 5. Análisis de componentes principales de las relaciones entre los tipos funcionales de plantas y los rasgos de raíces finas: longitud de raíz (Length), densidad de raíces finas (DRF) y longitud radicular específica (LRE) en la época de lluvia (a) y la época seca (b) en SSP de Rivas, Nicaragua

En la época seca, el TFP3 (*C. alata*) se asocia a valores intermedios de LRE. Esta es una estrategia conservadora en condiciones de escasez de agua, ya que le permite a la planta mantener actividad durante la época seca con un bajo consumo de agua. Por otro lado, bajo la copa de *C. alata*, el suelo en época seca presenta un mayor contenido de humedad en la segunda profundidad del suelo (20-40 cm), debido a la baja DRF. Este patrón podría estar asociado a una menor adquisición de agua a mayores profundidades. Este efecto se relaciona con altas acumulaciones de reservas para mantenerse en periodos de déficit hídrico (Azócar y García 2000, Lillis y Fontanella 1992) y es propio de la estrategia conservadora.

En la época seca se conformó el TFP4 (*T. rosea*), que se asocia a bajos valores de LRE y adopta un comportamiento similar a una dormancia durante la sequía, periodo en el cual el desarrollo y actividad metabólica se suspenden temporalmente y se reduce al mínimo la actividad de sus rasgos adquisitivos. Todos estos mecanismos se asocian a la estrategia conservadora. *T. rosea* combina la estrategia adquisitiva en la época de lluvia con la conservadora en la época seca.

CONCLUSIONES

Las raíces cumplen la función de adquisición de recursos del suelo, y su comportamiento depende de la filogenia de la especie, los factores ambientales y la

fisiología de la planta. Las especies presentan conjuntos de rasgos o atributos que les permiten responder al nivel y la variabilidad en la disponibilidad de agua. Según sean esos rasgos, las especies pueden agruparse en tipos funcionales de plantas (TFP) con estrategias conservadoras y adquisitivas particulares ante la sequía o presencia de humedad en el suelo. En general, las especies desarrollan estrategias adquisitivas en la época de lluvias y conservadoras en la época seca. Así por ejemplo, la estrategia adquisitiva de *C. caracasana* en la época de lluvias incluye valores altos de longitud radicular, en tanto que en época seca, su estrategia conservadora se asocia con valores altos de densidad de raíces finas.

En los sistemas silvopastoriles de áreas semiáridas es muy importante conocer el tipo de estrategias adquisitivas adoptadas por las especies, de manera que se incluyan plantas de diferentes tipos funcionales que coexistan de manera equilibrada. La evaluación de las interacciones y complementariedades deseadas permite implementar sistemas productivos ganaderos sostenibles, diversos y resilientes ante las condiciones cambiantes del clima. Las estrategias de adquisición y uso de los recursos adoptados por los diferentes TFP permiten contar con los insumos necesarios para la planificación en el diseño de sistemas productivos multifuncionales, acordes con las necesidades de los productores y con una proyección en los beneficios locales y regionales. Esta planificación

puede conllevar a aumentos en la producción que tanto han decaído debido a la vulnerabilidad que generan los regímenes erráticos y cambiantes del clima.

RECOMENDACIONES

Los resultados de la presente investigación pueden tomarse como orientadores para el diseño y la planificación de los sistemas productivos ganaderos en áreas del trópico seco en Nicaragua. Para este diseño es importante considerar el efecto de los rasgos funcionales, tanto radicales como aéreos de las especies involucradas en los procesos ecosistémicos deseables. Se debe contemplar la incorporación de especies con diferentes estrategias funcionales para mantener en el tiempo una provisión de servicios ecosistémicos que generen beneficios a los medios de vida de la población.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto FunciTree y CATIE mediante una beca de maestría a P. Bucheli. Agradecemos a Karla Grajales por su apoyo; a la Unidad de Biometría del CATIE; a Fabrice De Clerck y Christophe Jourdan por sus comentarios y valiosos aportes. En Nicaragua, agradecemos a Julio Morales, E. Can y Melvin Mena por su apoyo durante todo el proceso de campo y a todos los productores y familias que permitieron realizar los muestreos en sus fincas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ad-hoc-AG-Boden. 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung – 5. Auflage. Hannover, Germany. In Varga, R. Guía para la descripción de suelos. FAO, Roma, Italy. 93 p.
- Alvarado, J; McLennan, B; Sánchez, A; Garvin, T. 2009. Deforestation and forest restoration in Guanacaste, Costa Rica: Putting conservation policies in context. *Forest Ecology and Management* 258(6):931-940.
- Azócar A; García-Núñez, R. 2000. Aspectos ecofisiológicos para la conservación de ecosistemas tropicales contrastantes. *Bol. Soc. Bot.* 65:89-94.
- Bingham, I; Bengough, A. 2003. Morphological plasticity of wheat and barley roots in response to spatial variation in soil strength. *Plant and Soil* 250(2):273-282. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022891519039>
- Bucheli P. 2012. Evaluación de los rasgos funcionales radicales de especies arbóreas en sistemas silvopastoriles en relación con el contenido de humedad del suelo en Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Buurman, P; Hoosbeek, M. 2009. Soils of the Rivas area. Report of a field visit 9-21 November. The Netherlands, WUR. 8 p.
- Catalin Petritan, I; Lupke, B; Petritan, A. 2011. Fine roots of overstory Norway spruce (*Picea abies*): distribution and influence on growth of underplanted beech (*Fagus sylvatica*) and Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) saplings. *Forest Systems* 20(3):407-419.
- Comas, L; Eissenstat, D. 2004. Linking fine root traits to maximum potential growth rate among 11 mature temperate tree species. *Functional Ecology* 18(3):388-397. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1111/j.0269-8463.2004.00835.x>
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2008. InfoStat, versión 2008. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba.
- Escamilla, J; Comerford, N; Neary, D. 1991. Soil-core break method to estimate pine root distribution. *Journal of Soil Science Society of America* 55(6):1722-1726.
- Flores, E. 1999. La planta, estructura y función. Cartago, Costa Rica, LUR. 884 p.
- Grime, JP; Thompson, K; Hunt, R; Hodgson, JG; Cornelissen, JHC; Rorison, IH; Hendry, GAF; Ashenden, TW; Askew, AP; Band, SR; Booth, RE; Bossard, CC; Campbell, BD; Cooper, JEL; Davison, AW; Gupta, PL; Hall, W; Hand, DW; Hannah, MA; Hillier, SH; Hodgson, DJ; Jalili, A; Liu, Z; Mackey, JML; Matthews, N; Mowforth, MA; Neal, AM; Reader, RJ; Reiling, K; Ross-Fraser, W; Spencer, RE; Sutton, F; Tasker, DE; Thorpe, PC; Whitehouse, J. 1997. Integrated screening validates primary axis of specialisation in plants. *Oikos* 79:259-281.
- Henríquez, C; Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 112 p.
- Hodge, A. 2004. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. *New Phytologist* 162(1):9-24. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01015.x>
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2010. Características del clima de Nicaragua. Managua, Nicaragua. Disponible en <http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/clima%20nic/caracteristicasdelclima.html>
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2012. Áreas técnicas, meteorología, normas históricas Rivas Managua, Nicaragua. Consultado 15 febrero 2012. Disponible en <http://www.ineter.gob.ni/>
- Jackson, R; Mooney, H; Schulze, D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *National Academy of Sciences* 94:7362-7366.
- Jensen, W. 1994. Botánica. 2 ed. México D.F., McGraw-Hill. 762 p.
- Joslin, J; Gaudinski, J; Torn, M; Riley, W; Hanson, P. 2006. Fine-root turnover patterns and their relationship to root diameter and soil depth in a C14-labeled hardwood forest. *New Phytol* 172:523-535.
- Kursar, T; Engelbrecht, B; Burke, A; Tyree, M; Ei Omari, B.; Giraldo, J. 2009. Tolerance to low leaf water status of tropical tree seedlings is related to drought performance and distribution. *Functional Ecology* 23(1):93-102. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01483.x>
- Lillis, M; Fontanella, A. 1992. Comparative phenology and growth in different species of the Mediterranean maquis of central Italy. *Plant Ecology* 99-100(1):83-96. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/BF00118213>
- Liu, G; Freschet, G; Pan, X; Cornelissen, J; Li, Y; Dong, M. 2010. Coordinated variation in leaf and root traits across multiple spatial scales in Chinese semi-arid and arid ecosystems. *New Phytologist* 188(2):543-553. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03388.x>
- Majdi, H; Truus, L; Johansson, U; Nylund, J; Wallander, H. 2008. Effects of slash retention and wood ash addition on fine root biomass and production and fungal mycelium in a Norway spruce stand in SW Sweden. *For Ecol Manag* 255:2109-2117.

- Makita, N; Hirano, Y; Mizoguchi, T; Kominami, Y; Dannoura, M; Ishii, H; Finér, L; Kanazawa, Y. 2011. Very fine roots respond to soil depth: biomass allocation, morphology, and physiology in a broad-leaved temperate forest. *Ecological Research* 26(1):95-104. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s11284-010-0764-5>
- Miranda, J. 2012. Efecto de las características de las plantas y los rasgos funcionales de la copa de árboles del Neotrópico seco, sobre la transferencia de la lluvia y la captura de nutrientes. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 67 p.
- Morales, A. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. In Simposio Internacional: Posibilidades del manejo forestal sostenible en América Tropical (15-20 de julio, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 11 p.
- Olivero, LS. 2011. Functional trait approach to assess the ecological processes of drought tolerance and water use efficiency in silvopastoral systems in Rivas Department, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.
- Olsthoorn, A; Klap, J; Oude Voshaar, J. 1999. The relation between fine root density and proximity of stems in closed Douglas-fir plantations on homogenous sandy soils: implications for sampling design. *Plant and Soil* 211(2):215-221. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004624707774>
- Ospina, S; Rusch, G; Pezo, D; Casanoves, F; Sinclair, F. 2012. More stable productivity of semi natural grasslands than sown pastures in a seasonally dry climate. *PLoS ONE* 7(5): e35555. Disponible en <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0035555>
- Ostonen, I; Lõhmus, K; Helmisaari, H; Truu, J; Meel, S. 2007. Fine root morphological adaptations in Scots pine, Norway spruce and silver birch along a latitudinal gradient in boreal forests. *Tree Physiology* 27(11):1627-1634.
- Padilla, F; Miranda, J; Pugnaire, F. 2007. Early root growth plasticity in seedlings of three Mediterranean woody species. *Plant and Soil* 296(1):103-113. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9294-5>
- Pregitzer, K; Laskowski, M; Burton, A; Lessard, V; Zak, D. 1998. Variation in sugar maple root respiration with root diameter and soil depth. *Tree Physiol* 18:665-670.
- Prieto, I; Armas, C; Pugnaire, F. 2012. Water release through plant roots: new insights into its consequences at the plant and ecosystem level. *New Phytologist* 193(4):830-841. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.04039.x>
- Raats, P. 2007. Uptake of water from soils by plant roots. *Transport in Porous Media* 68(1):5-28. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s11242-006-9055-6>
- Ramírez, D; Ordaz, J; Mora, J; Acosta, A; Serna, B. 2010. Nicaragua, efectos del cambio climático sobre la agricultura. LC/MEX/L.964 CEPAL y ECCSSE. Distrito Federal, México, Naciones Unidas. 68 p.
- Reich, P; Walters, M; Tjoelker, M; Vanderklein, D; Buschena, C. 1998. Photosynthesis and respiration rates depend on leaf and root morphology and nitrogen concentration in nine boreal tree species differing in relative growth rate. *Functional Ecology* 12(3):395-405. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00209.x>
- Reich, P; Ellsworth, D; Walters, M; Vose, J; Gresham, C; Volin, J; Bowman, W. 1999. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. *Ecology* 80(6):1955-1969. Disponible en [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1955:GOLTRA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1955:GOLTRA]2.0.CO;2)
- Rodríguez, F. 2011. Efecto de los árboles aislados sobre características del suelo en sistemas silvopastoriles en Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 77 p.
- Rytter, RM; Rytter, L. 2012. Quantitative estimates of root densities at minirhizotrons differ from those in the bulk soil. *Plant and Soil* 350(1):205-220. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-011-0896-6>
- Rusch, G; Ospina, S; Zapata, P; Casals, P; Romero, J; Nieuwenhyse, A; De Clerck, F; Casanoves, F; Ibrahim, M. 2010. Oportunidades y trampas: algunas reflexiones sobre la sostenibilidad ecológica de los sistemas silvopastoriles. In Ibrahim, M; Murgueitio, E. (Eds.). Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos; Resúmenes Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible (6°: 2010, Panamá, Panamá). Turrialba, Costa Rica, CATIE, CIPAV. (disco compacto).
- Sánchez, D; López, M; Medina, A; Gómez, R; Harvey, C; Vélchez, S; Hernández, B; López, F; Joya, M; Sinclair, F; Kunth, S. 2004. Importancia ecológica y socioeconómica de la cobertura arbórea en un paisaje fragmentado de bosque seco de Belén, Rivas, Nicaragua. *Revista Encuentro(NI)* no. 68: 14 p.
- Thomas, R; De Pauw, E; Qadir, M; Amri, A; Pala M; Yahyaoui, A; Bouhssini, M; Baum, E; Iñiguez, L; Shideed, K. 2007. Increasing the resilience of dryland agro-ecosystems to climate change. *International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). SAT Journal* Vol. 04: 37 p. Disponible en <http://www.icrisat.org/journal/SpecialProject/sp5.pdf>
- Tsutsumi, D; Kosugi, K; Mizuyama, T. 2002. Effect of hydrotropism on root system development in soybean (*Glycine max*): growth experiments and a model simulation. *Journal of Plant Growth Regulation* 21(4):441-458. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007/s00344-003-0006-y>
- Valladares, F; Vilagrosa, A; Peñuelas, J; Ogaya, R; Camarero, J; Corcuera, L; Sisó, S; Gil-Pelegrín, E. 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. In Valladares F. (Eds.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid, España, Ministerio de Medio Ambiente. p. 163-190.
- Wafila (Integrated water resource management by the implementation of improved agro-forestry concepts in arid and semi-arid areas in Latin America). 2007. Pre-identification of the arid and semi-arid regions in Latin America. 10 p. Disponible en <http://www.wafila.com/183.0.html?&L=1>
- World Agroforestry Center. 2010. AgroForestry Tree Database, a tree species reference and selection guide *Albizia saman* (en línea). Consultado 15 noviembre 2010. Disponible en <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea/Products/AFDbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=180#Uses>.
- Zapata, P. 2010. Efecto del guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carao (*Cassia grandis*) y roble (*Tabebuia rosea*) sobre la productividad primaria neta aérea y composición florística de pasturas naturales en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 153 p.

Disponibilidad de biomasa y capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Nicaragua

Darwin Lombo¹, Muhammad Ibrahim², Cristóbal Villanueva³, Tamara Benjamin⁴, Christina Skarpe⁵

RESUMEN

El uso de especies leñosas forrajeras constituye una alternativa para la suplementación en la época seca en fincas ganaderas y así conservar o mejorar los niveles de productividad. El presente estudio evaluó el efecto de poda sobre la capacidad de rebrote y la producción de biomasa comestible; además, se identificaron los rasgos funcionales foliares que mejor explican la producción de biomasa de leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Rivas Nicaragua. Las especies evaluadas fueron *Albizia saman*, *Albizia niopoides*, *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmilifolia* y *Pithecellobium dulce*. La poda se aplicó a 2 m de altura, en árboles con 10-35 cm dap, al final de la época seca. Durante cuatro meses se realizaron conteos mensuales, marcación y registros mensuales de rebrotes, área foliar específica, área foliar y densidad de hojas. Los resultados muestran variabilidad en la producción de biomasa comestible y producción de rebrotes entre las leñosas forrajeras. Las especies *C. dentata* y *P. dulce* presentaron los mayores rendimientos de biomasa comestible, mientras que *A. niopoides* presentó el rendimiento más bajo. En términos de rasgos funcionales, se determinó que una menor AF se relaciona con un mayor reservorio de meristemos y yemas axiales que se traducen en mayor producción de biomasa total y capacidad de rebrote. Las especies *C. dentata* y *P. dulce* tuvieron el mayor potencial para la alimentación de ganado en la época seca, bien sea bajo el sistema de corte y acarreo o mediante el corte y ofrecimiento en el piso cerca del árbol. Sin embargo, se debe evaluar el efecto de podas prolongadas sobre la producción de biomasa.

Palabras claves: Efecto de poda, meristemos, rasgos funcionales foliares, yemas axiales.

ABSTRACT

Biomass production and sprouting of woody forage trees in the Nicaraguan dry tropics

The forage of woody species is a valuable feed option for cattle during the dry season in Nicaragua, as it helps to maintain and/or improve productivity levels. The objective of this study was twofold: a) to determine the biomass production and sprouting capacity of woody forage trees on pasturelands, and b) to identify the function traits related to biomass productivity. Six species commonly found on dry tropical pastures in Rivas, Nicaragua, were evaluated: *Albizia saman*, *Albizia niopoides*, *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmilifolia* and *Pithecellobium dulce*. At the end of the dry season, selected trees with 10-35 cm bhd were pruned at 2 m height. During four months, number of sprouts, leaf area, specific leaf area, and leaf intensity were monthly recorded. The results showed variability in both edible biomass and sprout production. *C. dentata* and *P. dulce* showed the highest edible biomass production, while *A. niopoides* showed the lowest. In terms of functional traits, it was determined a correlation between a smaller leaf area and a higher reservoir meristems and axial buds which improve both productivity and sprouting capacity. *P. dulce* and *C. dentata* showed the highest fodder potential for cattle feeding during the dry season, either under the cut-and-carry system or by cutting and offering on the floor near the tree. However, the effect of prolonged pruning on biomass production has to be assessed.

Keywords: Pruning effect, meristems, leaf functional traits, axial buds.

1 Mag. Sc. en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Autor para correspondencia (fabianlombo@gmail.com; dlombo@catie.ac.cr)

2 Representante Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)-Belize

3 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, Turrialba, Costa Rica

4 Purdue University, Indiana, EEUU

5 Norwegian Institute of Nature Research (NINA), Trondheim, Norway

INTRODUCCIÓN

El forraje de especies arbóreas y arbustivas puede complementar la alimentación bovina durante los periodos de sequía, cuando baja la disponibilidad de pastos naturales o mejorados de calidad y en cantidad aceptable. Las leñosas perennes ofrecen mejores rendimientos de biomasa y altos contenidos de proteína (Pezo *et al.* 1990, Sosa *et al.* 2004) que optimizan la dieta (Petit 2003), la digestibilidad animal (Sanona *et al.* 2007) y el control de parásitos (Hoste *et al.* 2006). Además, ayudan a cubrir los requerimientos nutricionales del ganado para mantener o mejorar su productividad durante los periodos secos (Turcios 2008). La búsqueda de nuevas especies con potencial forrajero es fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías en sistemas silvopastoriles de utilidad en el trópico seco (Larbi *et al.* 2005).

La mayoría de los estudios realizados con especies forrajeras arbustivas se centran en el manejo agronómico, composición química, pruebas de consumo y respuesta en producción animal (Barnes 1998, Latt *et al.* 2000), o bien en el efecto sobre la productividad (García *et al.* 2008) y la digestibilidad animal (Larbi *et al.* 2000, Larbi *et al.* 2005). Sin embargo, estos parámetros no parecen ser suficientes para determinar el potencial forrajero de las especies arbóreas. En este sentido, el uso del enfoque de ecología funcional permite conocer atributos individuales de la planta que expresan su capacidad de adaptación en entornos con baja disponibilidad de nutrientes y plasticidad fenotípica (Kleiman y Aarssen 2007), así como la eficiencia fotosintética y tasa de crecimiento relativo (Westoby y Wright 2003, Villar *et al.* 2004, Poorter *et al.* 2010), criterios no considerados en la selección de leñosas forrajeras.

El enfoque de ecología funcional reconoce que el tamaño del rebrote se correlaciona positivamente con el tamaño de las hojas (Poorter *et al.* 2010) y la proporción de biomasa en los diferentes órganos (Villar *et al.* 2004). Por esta razón, Kleiman y Aarssen (2007) determinaron los rasgos funcionales foliares que mejor expresan atributos, tales como el área foliar (AF), el área foliar específica (AFE) y la densidad de hojas (no. hojas/cm³ (volumen tallo)).

El objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad de rebrote y la disponibilidad de biomasa comestible de leñosas forrajeras dispersas en potreros. Además, se trató de definir los rasgos funcionales que mejor explican estos atributos, con el fin de aumentar la disponibilidad de forraje en fincas ganaderas del bosque

seco tropical. Se espera que estos resultados sirvan de insumo para el diseño de sistemas silvopastoriles que empleen árboles dispersos en potreros y se mejoren los planes de alimentación y la oferta de servicios ecosistémicos de abastecimiento durante la época seca. El estudio se realizó en el municipio de Belén, departamento de Rivas, Nicaragua, entre las coordenadas 11°30' N y 85°53' W, en la zona de vida de bosque seco tropical (Holdridge 1987). La temperatura media anual en la zona es superior a 27°C, la precipitación media anual es de 1400 mm y la elevación oscila entre 100 y 200 msnm (Ineter 2010) (Figura 1). Esta región se caracteriza por la presencia de un periodo de fuerte sequía en los meses de febrero a mayo.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño estadístico de parcelas subdivididas, en las cuales el factor principal (parcela) fue la especie



Una productora cosecha rebrotes de tigüilote (*Cordia dentata*) como estrategia de alimentación animal durante el periodo seco. Comunidad de Cantimplora, Municipio de Belén, Nicaragua. Foto: Darwin Lombo.

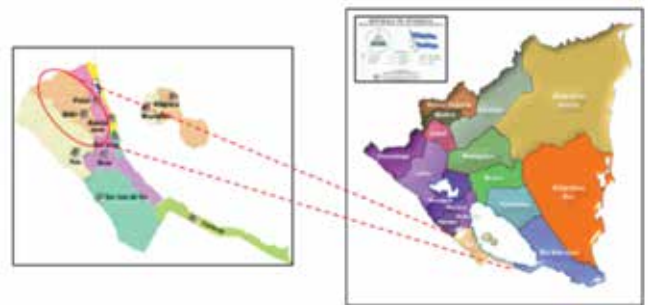


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Belén, departamento de Rivas, Nicaragua

Fuente: Ineter (2010).

arbórea y la subparcela, la poda (medición mensual). Se recolectó información de seis especies con seis réplicas para un total de 36 individuos sometidos a una intensidad de poda del 100%. Las especies evaluadas fueron *Albizia saman*, *Albizia niopoides*, *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Pithecellobium dulce*. Los árboles con dap de 10-35 cm fueron sometidos a podas totales a 2,0 m de altura entre los días 18 a 25 abril del 2011, a finales de la época seca, cuando la disponibilidad de forraje es más crítica. Se seleccionaron árboles bien distribuidos en pasturas activas, en suelos tipo vertisol, a plena exposición solar y cuyas copas no se cruzaran con árboles vecinos para evitar el efecto de sombra (Cornelissen *et al.* 2003). Se trató de escoger árboles con mínima presencia o antecedentes de podas. Para analizar los rasgos funcionales foliares que mejor explican la productividad se muestrearon 18 rebrotes por especie, con tres réplicas por individuo, para un total de 108 rebrotes muestreados.

Recolección de datos

Se realizaron muestreos mensuales durante los meses de mayo, junio, julio y agosto. Se contabilizaron y *señalaron* los rebrotes nuevos ubicados en el tercer (T), segundo (I) y primer (B) tercio del árbol, que tuvieran una longitud de ≥ 1 cm (Rooke *et al.* 2004). Para la señalización se usó cinta adhesiva de diferente color para cada mes: mes 1 amarillo, mes 2 blanco, mes 3 azul, mes 4 rojo. En cada mes se seleccionaron tres rebrotes nuevos para medir los rasgos funcionales: longitud (cm), diámetro del rebrote a nivel basal, medio y final (mm) y número de hojas de toda la estructura del rebrote (incluyendo las hojas faltantes visibles por las cicatrices) (Kleiman y Aarssen 2007, Milla 2009) y el número de ramitas primarias, secundarias, terciarias, cuaternarias y quintenarias.

Al final del muestreo (mes cuatro) se cosecharon los rebrotes y se dividieron en cuatro fracciones de biomasa: fracción fina (hojas (HF) y tallos (TF) con diámetro < 5 mm) y fracción gruesa (hojas (HG) y tallos (TG) > 5 mm) (Rodríguez *et al.* 2001, Pérez 2012). Se estimó la biomasa comestible mediante la suma de las fracciones HF, TF y HG y la biomasa total mediante el complemento de HF, TF, HG y TG. Se cuantificó el contenido de materia seca (g) de cada fracción por medio de muestras compuestas en peso fresco de 200 g, a temperatura constante de 60°C durante 72 horas.

El AFE se estimó en el último mes de muestreo mediante la selección de cuatro hojas/árbol (24 por

especie) en buenas condiciones de vigorosidad y desarrollo (Cornelissen *et al.* 2003). Las muestras fueron llevadas a laboratorio donde se pesaron en fresco (g), se escanearon para estimar su AF (mm²) y se llevaron al horno a temperatura constante 60°C durante 72 horas hasta peso seco (g) y, por último, se estimó el AFE (mg/mm). Para más detalles sobre la aplicación de esta metodología ver Cornelissen *et al.* (2003).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por medio de estadística descriptiva para todas las variables y análisis de varianza (Anova) para la producción de biomasa (kg MS) entre especies. Cuando las variables no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se corrieron modelos lineales, generales y mixtos y se ejecutaron distintas pruebas de heteroscedasticidad: *VarIdent*, *VarExp* y *VarPower* con nivel de significancia ($p < 0,0001$) hasta cumplir con los supuestos requeridos. Para los análisis estadísticos se utilizó el *software* InfoStat (Balzarini *et al.* 2010).

Para los rasgos funcionales asociados a los rebrotes longitud (cm), volumen (cm³) y biomasa de hojas (g MS) se realizó un Anova y estadística descriptiva. Mientras que la densidad de hojas (no. hojas/cm³) se estimó mediante la relación del número de hojas del tallo principal del rebrote y su correspondiente volumen. Para la estimación del volumen se utilizó la fórmula del cono truncado $V = (\eta\pi)/3 (R^2 + R*r + r^2)$, a diferencia de lo propuesto por Kleiman y Aarssen (2007) quienes simulan un cilindro. La densidad de hojas se relacionó con la masa (g MS) de las hojas ubicadas en el tallo principal del rebrote mediante la transformación de los datos a log10 para facilitar su estandarización y análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de la capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros

La producción promedio de rebrotes durante los cuatro meses mostró diferencias entre las especies ($p < 0,05$); las de mayor productividad fueron *P. dulce* y *C. dentata* con 260,5 y 147,83 rebrotes/árbol, respectivamente. Mucho más abajo se colocaron *G. ulmifolia* y *A. saman* con 69,33 y 54,0 rebrotes/árbol y, finalmente, *G. sepium* y *A. niopoides* con 24,33 y 17,33 rebrotes/árbol (Figura 2). Con el transcurrir de los meses, se evidenció una reducción en la producción de rebrotes: el primer y segundo mes fueron los de mayor producción. Esta respuesta pudiera deberse a la concentración de carbohidratos, que suele ser más alta a principios de la época seca (Latt

et al. 2000); para el segundo mes, la razón pudiera ser la variación en reservas de hidratos de carbono en función de la disponibilidad de recursos en el suelo y contenidos de humedad (Hrabar 2009). Las especies *A. niopoides* y *A. saman* iniciaron su producción de rebrotes durante el segundo mes de muestreo (época de lluvia). La reducción en la producción de rebrotes con el tiempo se debe a una reposición de las reservas de carbohidratos en las raíces mediante los fotosintatos producidos por las hojas y nuevas estructuras (Hrabar 2009). Una baja producción de rebrotes también puede deberse a la muerte y reducción de raíces secundarias y estructurales debido a la poda.

En términos de rasgos funcionales, se determinó que una menor área foliar se relaciona probablemente con una mayor producción de rebrotes y biomasa foliar, como ocurre con *P. dulce* (4171,9 mm²), *C. dentata* (4212,1 mm²) y *G. ulmifolia* (4968,6 mm²). Estos valores se correlacionan positivamente con las tasas de crecimiento relativo y una mayor proporción de hojas (Cornelissen *et al.* 1996, Wright y Westoboy 2000); así, las hojas pequeñas son un mayor reservorio de yemas axiales y meristemos que se traducen en mayor productividad y plasticidad fenotípica⁶ (Kleiman y Aarssen 2007).

Disponibilidad de biomasa de leñosas forrajeras en potreros

La mejor relación hoja/tallo la tuvieron las especies *P. dulce* y *G. ulmifolia* (1,41 y 1,27, respectivamente), en tanto que los valores más bajos los presentaron *A. saman* (0,89) y *G. sepium* (0,86) (Cuadro 1). Sin embargo, una prueba de Anova no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las especies ($p < 0,05$). La producción de biomasa comestible puso en el primer lugar a *C. dentata* (5,95±1,43 kgMS/árbol) y *P. dulce* (3,20±1,12 kgMS/árbol) seguidas por *A. saman*, *G. sepium* y *G. ulmifolia* (Cuadro 1). Esta producción puede deberse a una mayor proporción de biomasa de hojas con respecto a la biomasa total (Cuadro 1), ya que esta es una medida de inversión en órganos fotosintéticos activos que favorecen la tasa de crecimiento relativo (Villar *et al.* 2004). De alguna manera, se refleja la importancia de un mayor número de hojas sobre la productividad de los rebrotes. Villar *et al.* (2004) señalan que la proporción de masa foliar explica hasta en un 60% la razón de área foliar, aspecto morfológico importante en la tasa de crecimiento relativo de las plantas leñosas.



Marcación de rebrotes de madero negro (*Gliricidia sepium*) en el segundo mes de muestreo. Comunidad de La Cruz, municipio de Belén, Nicaragua. Foto: Darwin Lombo

Densidad de hojas en leñosas forrajeras en potrero

La evaluación entre la masa de la hoja y la densidad de hojas no mostró relación isométrica $r^2 = 0,1035$; $p < 0,001$ entre el grupo de especies forrajeras arbustivas; es decir que la densidad de hojas no explica la varianza entre los tamaños de las hojas. Esto quiere decir que el aumento en el tamaño de las hojas no se relaciona con el menor número de hojas en el rebrote (Figura 3). Este resultado puede deberse a que la densidad de hojas se estimó a partir de las hojas y el volumen del tallo primario del rebrote, debido a la dificultad de medir el volumen de la numerosa cantidad de ramitas asociadas al tallo primario y al reducido número de especies forrajeras arbustivas que no permiten apreciar con facilidad esta relación.

La importancia de esta relación (masa de hoja vs. densidad de hojas) radica en los beneficios de un grupo más grande de meristemos laterales, debido a que cada hoja se asocia generalmente con una yema axilar, lo que mejora la plasticidad fenotípica en la asignación de estos meristemos (Kleiman y Aarssen 2007) y, por consiguiente, la capacidad de respuesta ante la poda en potreros o bajo sistemas de corte y acarreo.

⁶ La plasticidad fenotípica se refiere a la mayor capacidad de adaptación a perturbaciones en el ambiente (Kleiman y Aarssen 2007).

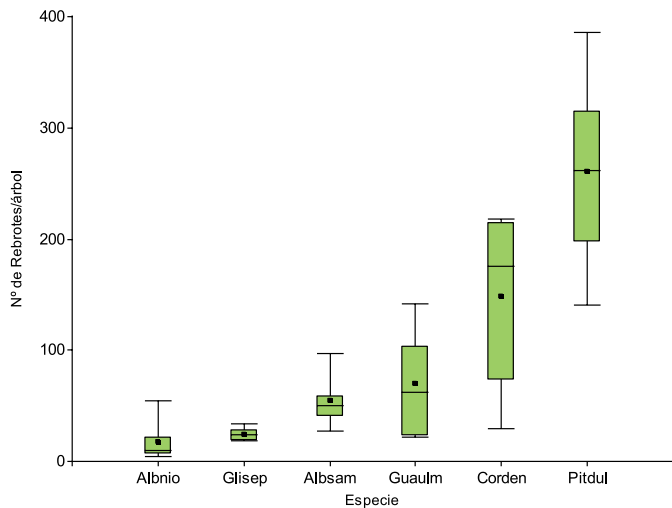


Figura 2. Producción promedio de rebrotos por árbol para seis especies leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Rivas, Nicaragua

Guazuma ulmifolia (Guaulm), *Gliricidia sepium* (Glisep), *Cordia dentata* (Corden), *Albizia saman* (Albsam), *Pithecellobium dulce* (Pitdul) y *Albizia niopoides* (Albnió). El gráfico de cajas muestra los percentiles 0,25, 0,5 (mediana) y 0,75 y valores extremos en los percentiles 0,05 y 0,95.

A partir de la hipótesis de Kleiman y Aarssen (2007): un mayor número de hojas (banco de meristemos) se traduce en un mayor número de ramitas (yemas axiales), se relacionó el número total de hojas presentes en los rebrotos y la sumatoria del número de ramitas secundarias, terciarias, cuaternarias y quindenarias adjuntas al tallo principal. Se determinó que el número de hojas explica la producción de ramitas en el rebrote ($r^2 = 0,93$; $p < 0,001$). Al observar la distribución de las especies sobre el eje de tendencia, se aprecia que las forrajeras con menor AF (*P. dulce*, *C. dentata* y *G. ulmifolia*) se distribuyen con mayor suavidad sobre toda la línea, en tanto que las especies con mayor AF (*A. saman*, *G. sepium* y *A. niopoides*) se agrupan en la intersección de los dos ejes (Figura 4).

Esto sugiere que una AF mayor se traduce en un menor número de hojas y de ramitas adjuntas al tallo principal; como resultado, disminuyen los bancos de meristemos (hojas) y la producción de yemas axiales (ramitas adjuntas al tallo primario) y, en consecuencia, disminuye también la producción de biomasa y la plasticidad fenológica.

Cuadro 1. Rasgos funcionales asociados a la capacidad de rebrote y productividad de seis especies forrajeras arbustivas en potreros activos de Rivas, Nicaragua

	<i>Cordia dentata</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Albizia saman</i>	<i>Albizia niopoides</i>
Familia*	(Boraginaceae)	(Fabaceae, Mimosoideae)	(Malvaceae, Byttnerioideae)	Fabaceae	(Fabaceae, Mimosoideae)	(Fabaceae, Mimosoideae)
Tipo de hoja*	Simple	Compuesta	Simple	Compuesta	Compuesta	Compuesta
Área foliar (mm²)	4212,1	4171,9	4968,6	16390,3 **	29564,8***	6320,6**
Área foliar específica (mm²/mg)	14,7	10,9	12,8	18,6 **	7,3 ***	15,3 **
Longitud/rebrote (cm)	145,05 + 12,38 (bc)	111,25 + 8,07 (ab)	168,91 + 10,95 (c)	235,67 + 18,43(d)	123,80 + 11,39 (b)	84,86 + 9,37 (a)
Diámetro base/rebrote (cm)	2,50 + 0,24 (cd)	1,66 + 0,11 (ab)	2,95 + 0,23 (d)	2,90 + 0,17 (d)	2,00 + 0,15 (bc)	1,49 + 0,14 (a)
Volumen/rebrote (cm³)	747,80 + 160,67 (b)	236,67 + 35,38 (a)	761,24 + 125,18 (b)	1261,08 + 165,05 (c)	357,25 + 63,46 (a)	215,43 + 61,38 (a)
Nº rebrotos	148 + 32,1 (b)	261 + 35,17 (c)	69 + 19,31(a)	24 + 2,51(a)	54 + 9,77 (a)	17 + 7,77 (a)
Nº hojas/rebrote	641,11 + 113,21 (c)	380,33 + 64,02 (b)	396,722 + 50,12 (b)	136,88 + 27,31(a)	44,889 + 6,03 (a)	93,389 + 22,96 (a)
Nº ramas/rebrote	57,61 + 10,26 (c)	29,38 + 4,84 (b)	39,33 + 5,25(b)	3,83 + 1,23 (a)	2,16 + 0,46 (a)	6,72 + 1,74 (a)
Densidad de hojas (hojas/cm³)	0,35 + 0,24 (a)	0,25 + 0,03 (a)	0,08 + 0,01 (a)	0,69 + 0,63 (a)	0,09 + 0,01 (a)	0,20 + 0,04 (a)
Relación hoja - tallo	0,94	1,41	1,27	0,86	0,89	1,06
Biomasa kgMs/árbol	11,40 + 2,35(a)	4,78 + 2,41 (b)	3,50 + 0,72 (b)	4,26 + 0,88 (b)	4,01 + 0,80 (b)	0,91 + 0,17 (c)
Biomasa comestible kgMs/árbol	5,95 + 1,43 (a)	3,20 + 1,12 (ab)	1,94 + 0,28 (b)	1,99 + 0,28 (b)	2,20 + 0,27 (b)	0,53 + 0,14 (b)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)
 Fuentes: *Missouri Botanical Garden (2011); **Chávez (2010); ***Olivero (2011)

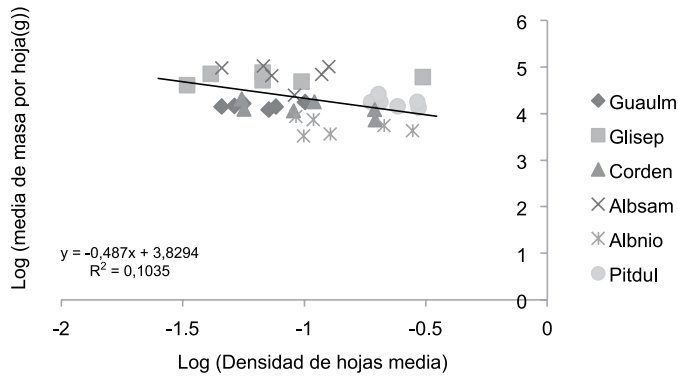


Figura 3. Relación entre la media de la masa de hojas individuales y la media de la densidad de hojas para seis especies leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Rivas Nicaragua

Guazuma ulmifolia (Guaulm), *Gliricidia sepium* (Glisep), *Cordia dentata* (Corden), *Albizia saman* (Albsam), *Pithecellobium dulce* (Pitdul) y *Albizia niopoides* (Albnio).

típica de la especie (Kleiman y Aarssen 2007, Yang *et al.* 2008, Milla 2009). Es decir que las forrajeras arbustivas con una menor AF, como *P. dulce*, *C. dentata* y *G. ulmifolia*, tienen un mayor reservorio de meristemos y yemas axiales que se traduce en mayor productividad. Entre mayor sea la asignación de biomasa a la formación de hojas, mayor será la capacidad de la planta para captar luz y dióxido de carbono que favorecen su productividad (Villar *et al.* 2004).

CONCLUSIONES

De las especies forrajeras arbustivas evaluadas, *C. dentata* y *P. dulce*, mostraron el mayor potencial para la producción de biomasa comestible en fincas ganaderas. Esta biomasa puede ser ofrecida al ganado bajo el sistema de corte y acarreo o directamente sobre el suelo, cerca del árbol durante la época de sequía. Sin embargo, se debe evaluar el efecto de podas prolongadas sobre la producción de biomasa. El enfoque de ecología funcional permitió determinar que las especies con menor AF (*P. dulce*, *C. dentata* y *G. ulmifolia*) tienen la mayor capacidad de rebrote y producción de biomasa, debido a que sus hojas de tamaño pequeño se distribuyen en mayor número sobre el rebrote y cada hoja representa un meristemo que puede desarrollar una yema axial (ramitas adjuntas al tallo principal). Esta capacidad de rebrote refleja la plasticidad fenotípica de las especies; es decir, su capacidad de adaptación a perturbaciones en el ambiente, entornos de baja disponibilidad de nutrientes y reacción ante la poda.

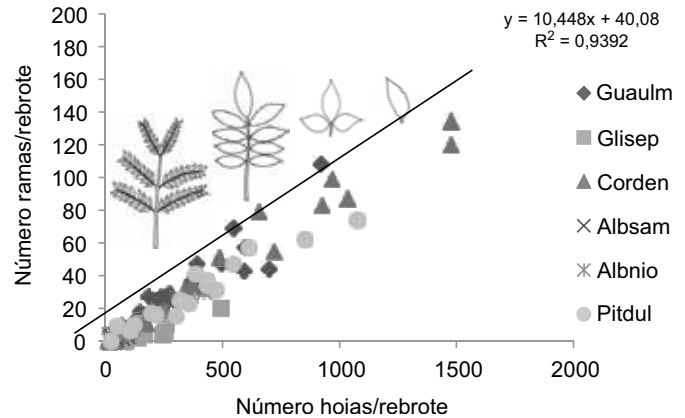


Figura 4. Relación entre el número de hojas y número de ramas para seis especies leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Rivas Nicaragua

Guazuma ulmifolia (Guaulm), *Gliricidia sepium* (Glisep), *Cordia dentata* (Corden), *Albizia saman* (Albsam), *Pithecellobium dulce* (Pitdul) y *Albizia niopoides* (Albnio)

BIBLIOGRAFÍA

- Balzarini, M; González, G; Tablada, E; Casanoves, F; Di Rienzo, J; Robledo, C. 2010. InfoStat: manual del usuario. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, Grupo InfoStat. 334 p.
- Barnes, P. 1998. Forage yields and quality in four woody forage plants in a subhumid environment in Ghana. *Agroforestry Systems* 42(1):25-32. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/v1u11nmv3ht35271/fulltext.pdf>
- Chávez, W. 2010. Diversidad funcional y capacidad de amortiguamiento de los bosques ribereños de la subcuenca Gil González, departamento de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 160 p.
- Cornelissen, JHC; Lavorel, S; Garnier, E; Diaz, S; Buchmann, N; Gurvich, D; Reich, PB; Ter Steege, H; Morgan, H; Van Der Heijden, M; Pausas, JG; Poorter, H. 2003. Handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Aust. J. Botany* 51:335-380.
- Cornelissen, JHC; Castro, PD; Hunt, R. 1996. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. *Journal of Ecology* 8(5):755-765.
- García, ED; Medina, MG; Coval, L. 2008. Aceptabilidad de follajes arbóreos tropicales por vacunos, ovinos y caprinos en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Trop* 26(3):191-196.
- Holdridge, L. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Hoste, H; Jackson, F; Athanasiadou, S; Thamsborg, SM; Hoskin, SO. 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in Parasitology* 6:254-261.
- Hrabar, H; Hattas, D; Toit, J. 2009. Differential effects of defoliation by mopane caterpillars and pruning by African elephants on the regrowth of *Colophospermum mopane* foliage. *Journal of Tropical Ecology* 25:301-309.
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2010. Zonificación de la III y IV región. Informe de campo. Managua, Nicaragua. Consultado 12 marzo 2011. Disponible en <http://www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/Matiguás.pdf>

- Kleiman, D; Aarssen L. 2007. The leaf size/number trade-off in trees. *Journal of Ecology* 95:376-382.
- Larbi, A; Awojide, I; Adekunle, D; Ladipo, DO; Akinlade. 2000. Fodder production responses to pruning height and fodder quality of some trees and shrubs in a forest-savanna transition zone in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems* 48:157-168.
- Larbi, A; Anyanwu, NJ; Oji, I; Etela, I; Gbaraneh, LD; Ladipo, DO. 2005. Fodder yield and nutritive value of browse species in West African humid tropics: response to age of coppice regrowth. *Agroforestry Systems* 65:197-205.
- Latt, CR; Nair, PKR; Kang BT. 2000. Interactions among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*. *Agroforestry Systems* 50:27-46.
- Milla, R. 2009. The leafing intensity premium hypothesis tested across clades, growth forms and altitudes. *Journal of Ecology* 97:972-983.
- Missouri Botanical Garden. 2011. Tropicos (en línea). Consultado 3 noviembre 2011. Disponible en <http://www.tropicos.org/>
- Olivero, S. 2011. Functional trait approach to assess the ecological processes of drought tolerance and water use efficiency in silvopastoral systems in Rivas Department, Nicaragua. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 32-35.
- Pérez, A. 2012. Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el departamento de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 76-105.
- Petit, S. 2003. Parklands with fodder trees: a Fulbe response to environmental and social changes. *Applied Geography* 23: 205-225.
- Pezo, P; Kass, M; Benavides, J; Romero, F; Chavez, C. 1990. Potential of legume tree fodders as feed in Central America (en línea). In Devendra, C. (Ed.). *Shrubs and tree fodders for farm animals; Proceedings of a workshop (Denpasar, Indonesia, 24-29 July 1989; sponsored by IRDC, Canadá)*. p. 163-165. Consultado 4 noviembre 2010. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/613/61342201.pdf>
- Poorter, L; Kitajima, K; Mercado, P; Chubiña, J; Melgar, I; Prins, HH. 2010. Resprouting as a persistence strategy of tropical forest trees: relations with carbohydrate storage and shade tolerance. *Ecology* 91(9):2613-2627.
- Rodríguez, PA; Clavero, T; Razz, R. 2001. Efecto de la altura y la frecuencia de poda en la producción de materia seca de *Acacia mangium*. *Revista Forestal Centroamericana* 35(3):38-40.
- Rooke, T; Bergstrom, R; Skarpe, C; Danell, K. 2004. Morphological responses of woody species to simulated twig-browsing in Botswana. *Journal of Tropical Ecology* 20:281-289.
- Sanona, H; Kaboré, Z; Ledinc, I. 2007. Nutritive value and voluntary feed intake by goats of three browse fodder species in the Sahelian zone of West Africa. *Animal feed, science and technology* 144:97-110.
- Sosa, E; Pérez, D; Reyes, L; Zapata, G. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos forrajeros tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México* 42(2):129-144.
- Turcios, H. 2008. Evaluación del proceso de toma de decisiones para adopción de bancos de proteína de leucaena (*Leucaena leucocephala*) y su efecto como suplemento nutricional para vacas lactantes en sistemas doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 125 p.
- Villar, R; Ruiz, R; Quero, J; Poorter, H; Valladares, F; Marañón, T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. In *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España. p. 191-227. Disponible en http://www.escet.urjc.es/biodiversos/publica/Tasas_crecimiento.pdf
- Westoby, M; Wright, IJ. 2003. The leaf size-twigs size spectrum and its relationship to other important spectra of variation among species. *Oecologia* 135:621-628.
- Wright, IJ; Westoby, M. 2000. Cross-species relationships between seedling relative growth rate, nitrogen productivity and root vs. leaf function in 28 Australian woody species. *Functional Ecology* 14:97-107.
- Yang, D; Li, G; Sun, S. 2008. The Generality of Leaf Size versus Number Trade-off in Temperate Woody Species. *Annals of Botany* 102:623-629. Disponible en <http://aob.oxfordjournals.org/content/102/4/623.full.pdf+html>

Avances de Investigación

Efectos de las rasgos morfológicos y ecofisiológicos de árboles neotropicales en la transferencia de agua y nutrientes al suelo

Juliana Miranda Gómez¹; Graciela M. Rusch²; Pere Casals³; Fabrice Declerck⁴; Muhammad Ibrahim⁵; Fernando Casanoves⁶; Francisco Jiménez⁷

RESUMEN

El propósito del estudio fue evaluar el efecto de rasgos morfológicos y ecofisiológicos de varias especies de árboles en la cantidad de lluvia y nutrientes transferidos desde la copa al suelo. Las especies evaluadas fueron *Albizia saman*, *Coccoloba caracasana*, *Coccoloba floribunda*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*. Se evaluaron 28 árboles dispersos en potreros durante la estación lluviosa entre los meses de mayo a septiembre del 2011; además, se analizaron 39 muestras de agua de lluvia (28 muestras compuestas recolectadas bajo las copas y 11 muestras control) con el fin de determinar el contenido de nutrientes en el agua de la primera lluvia registrada al inicio de la época lluviosa. Se encontraron diferencias significativas en la cantidad de lluvia transferida a través de la copa arbórea de las diferentes especies. El rasgo funcional que mayor correlación presentó con dicha variable fue el tamaño de la hoja (área foliar). La fuerza tensil de la hoja, la longitud del peciolo y el área foliar se correlacionaron positivamente con la diferencia entre el contenido de nutrientes en el agua recogida bajo y fuera de la copa.

Palabras clave: Árboles dispersos en potrero, copa arbórea, pluviometría, servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

Effect of morphological and eco-physiological traits of neotropical tree species on water and nutrients transference to soil

This study assessed the effect of morphological and eco-physiological traits of six tree species on the amount of rainfall and nutrients transferred to the soil through the tree crown. The tree species evaluated were *Albizia saman*, *Coccoloba spp.*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*. We studied 28 isolated trees in paddocks during the rainy season (from May to September 2011). Thirty-nine rainfall samples (28 compound samples under the trees and 11 control samples) were analyzed to determine the nutrient content in rain water at the start of the rainy season. Species differed significantly in the amount of rainfall transferred through the crown. Leaf size (leaf area) was the trait with highest correlation with rain throughfall. Leaf size, tensile strength and petiole length were positively correlated to differences in nutrient content under the tree canopy and in open field.

Keywords: Trees in pastures, tree crowns, throughfall, ecosystem services.

INTRODUCCIÓN

Los impactos del cambio climático en términos de temperatura y precipitación son cada vez más frecuentes e intensos en la región centroamericana. Se pronostica que la lluvia aumentará en los trópicos y disminuirá en zonas áridas y semiáridas y en el interior de los grandes

continentes, y que probablemente habrá mayores extensiones afectadas por estrés hídrico (FAO 2011, IPCC 2007). Las características de la cobertura vegetal redundan en estos procesos, ya que el grado de interceptación del agua de lluvia -y, por lo tanto, la cantidad de agua que llega al suelo- depende del tipo de cobertura. Una

1 Mag. Sc Agroforestería Tropical, Especialista en Práctica del Desarrollo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE – Costa Rica. Correo electrónico: jmirandag@catie.ac.cr

2 PhD. Senior researcher Norwegian institute of nature research. Correo electrónico: Graciela.Rusch@nina.no

3 PhD. Centro Tecnológico Forestal de Cataluña CTFC – España. Correo electrónico: pere.casals@ctfc.es

4 PhD. en Ecología de Paisajes. Program Leader Agroecological Intensification and Risk Management - Bioversity International – Francia. Correo electrónico: f.declerck@cgiar.org

5 PhD. Director oficina del IICA Belice. Correo electrónico: muhammad.ibrahim@iica.int

6 PhD. Unidad de Bioestadística, CATIE. Correo electrónico: casanoves@catie.ac.cr

7 PhD. Vicedecano Académico, CATIE. Correo electrónico: fjimenez@catie.ac.cr

vez que se haya producido un cambio de uso del suelo, especialmente al convertir la vegetación nativa a pastos o agricultura, los procesos biofísicos que controlan el régimen hidrológico también cambian (Quintero 2010). El agua de lluvia que pasa a través de la vegetación puede enriquecerse con nutrientes provenientes de exudados o de partículas de suelo retenidas en las hojas. Según Jaramillo (2003), el potasio es el elemento que en mayor cantidad ingresa al suelo con el agua de lavado foliar; en menor medida, se aporta calcio y magnesio. Por el contrario, la concentración de nitrógeno y fósforo disminuye con el paso del agua de lluvia a través de la cobertura forestal (Andrade *et al.* 1995). Es de esperar que tanto la cantidad de agua interceptada por la copa como la de nutrientes lavados dependa de las características morfológicas de la copa y de las hojas de las especies de plantas presentes en el ecosistema.

La presente investigación buscó medir y evaluar algunos rasgos morfológicos y ecofisiológicos de los árboles del neotrópico subhúmedo y su efecto sobre la transferencia de agua de lluvia y los nutrientes NO_2 , NO_3 , P total, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} desde la copa al suelo. La transferencia de agua y de nutrientes se relaciona con la recarga hídrica, el reciclaje de nutrientes, la evaporación y los ciclos biogeoquímicos. Por esto, entender estos procesos es importante para la planificación y el manejo de sistemas silvopastoriles, especialmente en zonas donde se dan periodos de sequía prolongada, bajas cantidades de lluvia anual y/o períodos críticos por deficiencia o exceso de lluvia durante eventos climáticos extremos como El Niño o La Niña.

Como hipótesis del estudio se planteó:

- 1) Las especies evaluadas presentan diferencias en cuanto a la cantidad de lluvia transferida desde la copa del árbol; asimismo, hay diferencias de transferencia entre la parte media y el borde de la copa.
- 2) La lluvia recolectada que pasa a través de la copa del árbol presenta mayor cantidad de K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} y menor contenido de P total, NO_2 , NO_3 , en comparación con la lluvia no interceptada.
- 3) Los rasgos morfológicos y ecofisiológicos de la copa de los árboles influyen en el grado de interceptación/transferencia de la lluvia y la captura/transferencia de nutrientes.

El estudio se desarrolló en fincas ganaderas de las comunidades de San Antonio, Mata de Caña, Los Ángeles y Cantimplora del municipio de Belén, departamento de Rivas, Nicaragua, entre $11^{\circ}30'$ N y $85^{\circ}53'$

W (Alcaldía de Belén 2011). La altitud aproximada de la zona es de 80 msnm y corresponde a la zona de vida bosque seco tropical (Holdridge 1987). La estación seca se extiende entre los meses de noviembre a abril (Ineter 2005), con precipitaciones mínimas cercanas a cero entre los meses de febrero a marzo y una estación lluviosa entre los meses de mayo a octubre, cuando cae el 91% del total anual de las lluvias (Alcaldía de Belén 2011). A mitad del período lluvioso, entre los meses de julio y agosto, con frecuencia se da un periodo de precipitación mínima, conocido como “canícula” (Ineter 2005). La precipitación promedio anual es de 1450 mm (Ineter 2011); la humedad relativa promedio es del 70%; el rango de temperaturas se encuentra entre los 26 y 33° C, con una media anual de 27° C (Alcaldía de Belén 2011).

En total se evaluaron 28 árboles dispersos en potreros; las especies evaluadas fueron genízaro (*Albizia saman*), *Coccoloba caracasana*, *Coccoloba floribunda*, jícara (*Crescentia alata*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y roble (*Tabebuia rosea*). Las dos especies de *Coccoloba* se consideraron de forma conjunta para la mayoría de los análisis. Se seleccionaron árboles libres de epífitas y/o lianas, ubicados en zonas planas y, en la medida de lo posible, alejados de carreteras principales para disminuir los efectos sobre la captura de nutrientes.

La lluvia filtrada a través de la copa y fuera de la copa se recolectó con pluviómetros. Para su construcción se utilizaron embudos plásticos de 11,8 cm de diámetro con un área de recepción de 109,36 cm². A cada embudo se le adaptó a la base un tubo de PVC de 12 mm con el fin de reducir la evaporación de las muestras de agua. Los embudos y tubos de PVC se fijaron en botellas plásticas de 1,5 litros y protegidos inicialmente con una malla plástica para evitar la caída de flores, insectos u hojas al interior de los pluviómetros, lo que podría haber afectado los resultados de los análisis químicos del agua. En total, se instalaron 324 pluviómetros (12 por árbol), colocados en las cuatro direcciones cardinales. Bajo la copa se colocaron ocho pluviómetros en las posiciones 1 y 2 y cuatro pluviómetros fuera de copa en la posición 3 (Figura 1). Los pluviómetros ubicados fuera de la copa de los árboles se colocaron a cinco metros de distancia, medidos desde la periferia del dosel (Figura 1). El esquema de ubicación de los pluviómetros pretende eliminar sesgos en la colecta de agua debidos a la orientación (asociados a la dirección predominante de los vientos) y posible forma irregular de la copa. El

muestreo en los cuatro cuadrantes cardinales permitió, además, determinar la influencia de la orientación sobre el proceso de transferencia de la lluvia. Todos los pluviómetros se fijaron a estacas de madera de 80 cm de altura con cinta elástica y bridas a una distancia promedio del suelo de 40 cm. Tanto durante el periodo de instalación como el día previo a la toma de datos se nivelaron los pluviómetros. En total se registraron 20 eventos lluviosos comprendidos entre los meses de mayo a septiembre del 2011.

Para los análisis de nutrientes en la lluvia se recolectaron y analizaron 39 muestras de agua de lluvia (28 muestras compuestas recolectadas bajo la copa y 11 muestras fuera de la copa), tomadas al inicio de la época lluviosa (14 y 15 de mayo). Se determinó el contenido en mg/l de NO_2 , NO_3 , P total, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} en el laboratorio Físico Químico de Aguas del Centro de Investigación y Estudios del Medio Ambiente (CIEMA) de la Universidad Nacional de Ingeniería con sede en Managua, Nicaragua. El protocolo empleado fue el *Standard methods for the examination of water and wastewater*, versión 21 (Eaton 2005).

Rasgos morfológicos y ecofisiológicos

Los rasgos morfológicos evaluados a nivel de árbol fueron: diámetro de copa (DiC), altura total del árbol (AT), altura a la primera ramificación o bifurcación

(AR), altura de la rama más baja (ARB) medida desde la punta de la rama más cercana al suelo; diámetro a la altura del pecho (dap), densidad de copa (DC) y forma de copa (FC) (Cuadro 1). Los rasgos ecofisiológicos considerados fueron área foliar (AF), área foliar específica (AFE); longitud del peciolo (LP), grosor de la hoja (GH), fuerza tensil de la hoja (FTH) y porcentaje de pubescencia. Estas variables fueron descritas por Olivero (2011) según el protocolo de Cornelissen *et al.* (2003). La descripción de la textura de la hoja (TH) y tipo de hoja (TiH) se obtuvo de la Flora de Nicaragua (Stevens *et al.* 2001).

Diseño y análisis estadístico

Para el análisis estadístico, el modelo utilizado correspondió a parcelas divididas: la parcela principal fue el individuo de cada especie y la subparcela la combinación de las posiciones de los pluviómetros ubicados bajo (a dos distancias desde el fuste) y fuera de la copa en las direcciones norte, sur, este y oeste. Los eventos lluviosos y el árbol se consideraron como efectos aleatorios. Se instalaron cinco réplicas por especie. Para los análisis estadísticos se empleó el programa estadístico Infostat 2011 (Di Rienzo *et al.* 2011); como variable respuesta se usaron las diferencias promedio por árbol de la cantidad de lluvia recolectada bajo y fuera de la copa en las posiciones 3-1, 3-2 y 2-1 indicadas en la Figura 1, y denominadas como Δ 3-1, Δ 3-2 y Δ 2-1.

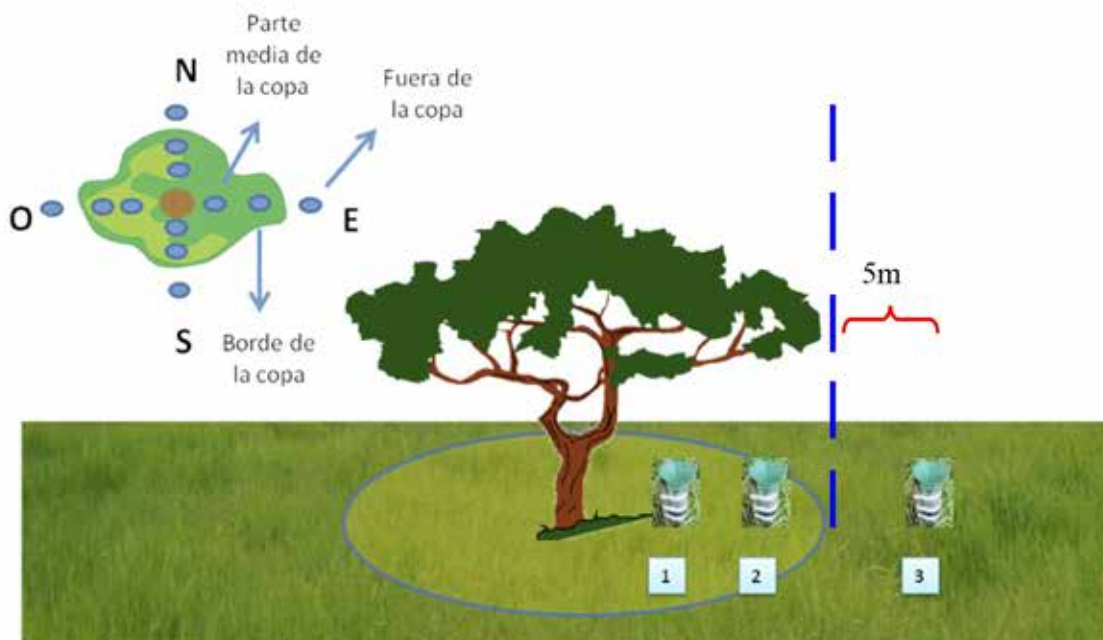


Figura 1. Disposición de los pluviómetros en campo debajo y fuera de la copa de los árboles

Cuadro 1. Clases de las variables categóricas forma de la copa, textura haz y envés de la hoja y tipo de hoja

Variables categóricas	Descripción
Forma de la copa	Elíptica horizontal; elíptica vertical
Textura haz de la hoja	Lisa y glabra, glabra; velutinas a pubescentes; puberulentos a glabros; lepidoto
Textura envés de la hoja	Penachos de tricomas axilares; puberulento y con nervadura reticulada; ligeramente pubescentes; velutinas a pubescentes, con tricomas estrellados y simples; puberulentos a glabros; lepidoto
Tipo de hoja	Simple; compuesta

Con el fin de evaluar la diferencia en el contenido de nutrientes bajo y fuera de la copa de los árboles se aplicaron pruebas t pareadas paramétricas para P total, Ca²⁺ y NO₃⁻ y pruebas t pareadas no paramétricas Wilcoxon para Mg²⁺, K⁺ y NO₂⁻. Asimismo, para determinar la influencia de las zonas noroeste y sureste sobre la transferencia de la lluvia se realizó, para cada una

de las variables respuesta, un análisis de componentes principales. Las mediciones por zona fueron agrupadas de esta manera, ya que no se encontraron diferencias significativas entre las zonas noroeste y sureste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las distintas especies mostraron diferencias considerables en cuanto a los rasgos morfológicos y ecofisiológicos (Cuadro 2). El área de interceptación del dosel arbóreo para las especies evaluadas se calculó a partir del promedio del diámetro de la copa de cada especie: *A. saman* 535 m², *Coccoloba* spp. 207 m², *C. alata* 102 m², *E. cyclocarpum* 241 m², *G. ulmifolia* 156 m² y *T. rosea* 78 m². *A. saman* y *E. cyclocarpum* tuvieron la mayor área de copa y, por lo tanto, mayor superficie de interceptación de lluvia, captura y transferencia de nutrientes; en tercera posición, pero sin diferencias estadísticas significativas con las dos primeras, se ubicó el grupo *Coccoloba* spp.

Transferencia de lluvia

En coincidencia con la hipótesis planteada, existen diferencias significativas entre especies en cuanto a la magnitud de transferencia de lluvia a través de la copa, expresada como la diferencia positiva o negativa

Cuadro 2. Diferencias promedio y errores estándar de los rasgos morfológicos y ecofisiológicos de las especies evaluadas

	<i>Albizia saman</i>	<i>Coccoloba</i> spp.	<i>Crescentia alata</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Tabebuia rosea</i>
Rasgos morfológicos del árbol						
Diámetro de copa (m)	26,10 ± 9,16 c	16,23 ± 2,77 abc	11,38 ± 1,01 a	17,51 ± 2,21 bc	14,10 ± 4,06 ab	9,98 ± 2,72 a
Altura total (m)	15,15 ± 2,73 b	12,80 ± 1,74 b	8,48 ± 1,08 a	16,56 ± 3,76 b	11,68 ± 2,02 ab	12,58 ± 1,27 b
Altura de ramificación (m)	2,80 ± 1,44 bc	0,25 ± 0,50 a	1,34 ± 0,75 ab	2,96 ± 0,31 c	1,83 ± 0,84 abc	9,60 ± 13,60 c
Altura de la rama más baja (m)	1,43 ± 0,75 ab	0,68 ± 0,29 a	1,22 ± 0,31 ab	1,80 ± 0,64 b	1,40 ± 0,37 ab	2,55 ± 1,03 b
Dap (cm)	84,11 ± 33,93 bc	159,50 ± 83,67 c	44,42 ± 4,69 a	56,63 ± 5,92 ab	63,78 ± 20,24 abc	41,75 ± 7,13 a
Densidad de copa (%)	84,84 ± 4,08 ab	88,39 ± 3,80 b	70,61 ± 12,69 a	74,98 ± 3,71 a	89,47 ± 1,22 b	83,45 ± 4,29 ab
Rasgos morfológicos y ecofisiológicos de la hoja						
Área foliar (mm ²)*	28986,97 ± 531,68 bc	29109,83 ± 6383,26 bc	1657,28 ± 9,53 a	37834,82 ± 5781,96 c	3985,54 ± 226,71 ab	39024,33 ± 1721,37 c
Área foliar específica (m ² /kg)*	7,48 ± 0,23 ab	7,29 ± 0,47 ab	7,03 ± 0,33 a	8,96 ± 0,40 bc	11,22 ± 0,42 c	6,88 ± 0,16 a
Longitud del peciolo (cm)*	5,44 ± 0,40 abc	3,05 ± 0,51 ab	5,87 ± 0,19 bcd	6,20 ± 0,27 cd	1,37 ± 0,07 a	14,26 ± 0,51 d
Fuerza tensil de la hoja (N/mm)*	0,99 ± 0,17 bc	1,16 ± 0,27 bc	0,68 ± 0,10 ab	0,46 ± 0,14 a	0,35 ± 0,01 a	1,22 ± 0,01 c
Grosor de la hoja (mm)*	0,05 ± 3,0E-03 b	0,05 ± 1,3E-03 b	0,03 ± 8,9E-04 a	0,04 ± 2,6E-03 ab	0,05 ± 5,0E-04 b	0,03 ± 0,00 a
% pubescencia haz *	0,65 ± 0,00 a	NR	7,10 ± 0,00 bc	1,10 ± 0,00 ab	39,20 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 a
% pubescencia envés *	35,50 ± 0,00 bc	NR	11,70 ± 0,00 ab	11,70 ± 0,00 ab	59,60 ± 0,00 c	0,38 ± 0,00 a

Las medias por especie con una letra en común para cada variable no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

NR= No hay datos registrados.

*Datos tomados de la base de datos de los proyectos Silpas – FunciTree. Para los individuos evaluados cuyos valores concordaron con los de Olivero (2011), se tomaron los valores reportados por el autor; para los individuos que no concordaron, se usó el promedio de la especie.

de la lluvia caída debajo y afuera de la copa del árbol. Los valores de interceptación y transferencia de lluvia por especie fueron los siguientes: *E. cyclocarpum* 16% - 84%; *T. rosea* 25% - 75%; *C. alata* 30% - 70%; *G. ulmifolia* y *A. saman* 33% - 67% y para el grupo *Coccoloba* spp. 37% - 63%, respectivamente.

El tamaño de la hoja, expresado como el área foliar (AF), fue el rasgo que mayor correlación presentó con la magnitud de transferencia de lluvia. El AF se correlacionó negativamente con las diferencias entre fuera y bajo la copa (Δ 3-2), (Δ 3-1) y positivamente con las diferencias entre las dos posiciones bajo la copa (Δ 2-1). Sin embargo, el tamaño de hoja explica solo parcialmente la magnitud de la transferencia de agua a través de la copa. Las especies *Coccoloba* spp. fueron las que menor cantidad de lluvia transfirieron (63%), aunque el AF fue estadísticamente igual al de *E. cyclocarpum* y *T. rosea* –las de mayor AF y mayor porcentaje de lluvia transferida bajo la copa (84 y 75%, respectivamente)-. Esto indica que, si bien el tamaño de hoja es un rasgo determinante en el proceso de transferencia de la lluvia, existen otros rasgos morfológicos que influyen directamente en dicho proceso. En este sentido, Cháidez *et al.* (2008) afirman que los altos valores de interceptación de la lluvia se asocian con variables como el número de fustes, la inclinación de las ramas y, probablemente, una mayor AF, mientras que los valores bajos de interceptación tienen que ver con hojas pequeñas, corteza alisada y ramas inclinadas hacia el cenit. La aparente contradicción entre los resultados obtenidos con *E. cyclocarpum* y *T. rosea* (alta AF y alta transferencia) podría atribuirse a que ambas especies tienen hojas compuestas y que el tamaño de los folíolos (y no de la hoja entera) es la unidad funcional en la interceptación de lluvia.

Según el análisis de componentes principales, la magnitud de la transferencia de lluvia entre las posiciones bajo copa (Δ 2-1) en la zona noroeste se correlacionó negativamente con la altura total del árbol (AT), lo cual indica

que a mayor AT, menor es el efecto del árbol sobre la transferencia de lluvia en dicha posición. En la zona sureste, la AT y el diámetro de copa se correlacionaron positivamente con la retención del agua de lluvia (mayor diferencia entre Δ 3-1, y Δ 3-2). Estas diferencias entre sectores se relacionan probablemente con la dirección del viento predominante durante el evento de lluvia.

Las diferencias en la magnitud de la transferencia de lluvia entre posiciones debajo de la copa (Δ 2-1) se relaciona de manera negativa con la densidad de la copa y de manera positiva con la fuerza tensil de la hoja y la longitud del peciolo, dos rasgos foliares que señalan el grado de rigidez de las hojas. Según Ortiz (2006), las gotas de lluvia que entran en contacto con la copa continúan su trayectoria hacia el suelo arrastrando otras gotas de lluvia, especialmente si impactan contra estructuras poco rígidas como hojas y tallos finos; así, la copa actúa como una estructura de captación y concentración de la lluvia. En consecuencia, tanto la morfología de las hojas como la densidad de la copa afectan la forma en que la lluvia transferida se distribuye debajo del árbol. Existe también una relación significativa asociada a la transferencia de la lluvia entre las posiciones (Δ 3-2), (Δ 3-1) y (Δ 2-1) con la variable categórica textura del envés de la hoja y la posición (Δ 3-1) con las variables forma de la copa elíptica horizontal y elíptica vertical y textura del haz de la hoja, más no con la variable tipo de hoja (Cuadro 3).

Transferencia de nutrientes

La lluvia que pasa a través de la copa de los árboles presenta mayor cantidad de P total, K⁺, Mg²⁺ y Ca²⁺ y menor contenido de NO₂, NO₃ en comparación con la lluvia no interceptada por el árbol (Cuadro 4). El menor contenido de NO₂ y NO₃ concuerda con los resultados de Bhat *et al.* (2011), quienes argumentan que el nitrógeno recibido bajo la copa de los árboles se reduce al atravesarla debido a una posible absorción del nitrógeno por parte del dosel (Andrade *et al.* 1995).

Cuadro 3. Nivel de significancia de los rasgos morfológicos y ecofisiológicos asociados a la transferencia de lluvia y nutrientes

Variables categóricas	(Δ 3-2) <i>P</i>	(Δ 3-1) <i>p</i>	(Δ 2-1) <i>p</i>	P total <i>p</i>	Ca2+ <i>p</i>	Mg2+ <i>p</i>	K+ <i>p</i>
Forma de la copa	0,1288	0,0083	0,3450	0,2399	0,3162	0,4199	0,3162
Textura haz de la hoja	0,0611	0,0007	0,0852	0,2377	0,0985	0,1254	0,2827
Textura envés de la hoja	0,0481	0,0015	0,0286	0,2386	0,1211	0,1872	0,3121
Tipo de hoja	0,3513	0,2514	0,0508	0,9507	0,6853	0,3951	0,6853

p = 0,05, nivel de significancia. Valores en negrita indican *p* ≤ 0,05

Cuadro 4. Diferencia promedio en el contenido de nutrientes entre el agua de lluvia recogida bajo y fuera de la copa del árbol (mg/l)

	<i>Albizia saman</i>	<i>Coccoloba caracasana</i>	<i>Coccoloba floribunda</i>	<i>Crescentia alata</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Tabebuia rosea</i>
P total	0,31 ± 0,09 a	0,28 ± 0,59 ab	0,95 ± 0,22 a	0,05 ± 0,01 b	0,06 ± 0,07 b	0,62 ± 0,12 a	-0,01 ± 0,06 b
Ca ²⁺	1,36 ± 0,48 cd	0,90 ± 0,58 cd	4,82 ± 0,48 a	2,94 ± 0,37 b	0,34 ± 0,34 d	2,28 ± 0,34 bc	0,56 ± 0,48 d
Mg ²⁺	0,46 ± 0,15 bc	0,54 ± 1,08 abc	2,41 ± 0,33 a	0,24 ± 0,11 c	0,59 ± 0,10 ab	1,16 ± 0,23 a	0,46 ± 0,15 bc
K ⁺	3,73 ± 1,12 b	4,61 ± 6,31 ab	17,42 ± 2,45 a	1,50 ± 0,17 b	2,10 ± 0,79 b	6,89 ± 0,79 a	1,49 ± 1,12 b
NO ₃ ⁻	-0,80 ± 0,43 a	-0,05 ± 0,75 a	0,25 ± 0,71 a	-0,42 ± 0,40 a	-1,16 ± 0,25 a	-0,02 ± 0,44 a	-0,21 ± 0,57 a
NO ₂ ⁻	0,01 ± 0,01 a	-0,08 ± 0,08 a	0,06 ± 0,15 a	0,01 ± 0,01 a	0,06 ± 0,04a	-4,2E-03 ± 2,8E-03 a	0,02 ± 0,01 a

Medias de cada elemento con una letra en común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

El K⁺ fue el elemento que presentó mayor diferencia entre las posiciones bajo y fuera de la copa, seguido por el Mg²⁺ y el Ca²⁺ (Cuadro 4). Estos resultados concuerdan con los de Campo *et al.* (2000), Jaramillo (2005) y Gallardo *et al.* (2009), quienes reportan que las cantidades de K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ aumentan después de haber atravesado el dosel, en comparación con el agua de lluvia fuera del dosel. Según Gallardo *et al.* (2009), los aportes de P al suelo por el pluviolavado suelen ser pequeños pues este es uno de los elementos menos móviles (Silva *et al.* 2006), mientras el K, al ser el elemento más soluble en la hoja, se pierde fácilmente por el lavado (Gallardo *et al.* 2009).

Según el análisis de componentes principales, los rasgos morfológicos y ecofisiológicos de los individuos evaluados explican el 71,5 y el 85%, respectivamente, de la variabilidad total. Existe una relación positiva entre el aporte de nutrientes (medias de Δ calcio, Δ fósforo, Δ potasio y Δ magnesio) y las variables altura de la rama más baja y altura de ramificación, y una relación negativa con la altura total y el dap. Estos resultados concuerdan con los de Bhat *et al.* (2011), quienes reportan que la altura del árbol y el radio de la copa influyen en las tasas de deposición. Igualmente, existe una relación positiva con los rasgos ecofisiológicos fuerza tensil de la hoja, longitud del peciolo y área foliar, y negativa con el grosor de hoja, área foliar específica y pubescencia tanto del envés como del haz.

Según Rivera y Guarín (2009), las especies con mayor área foliar interceptan mayor cantidad de partículas suspendidas totales. Esto coincide con los

resultados del presente estudio: los mayores valores de transferencia de nutrientes se dieron en las especies *Coccoloba* spp., las cuales también presentan un alto valor de área foliar (Cuadro 2). Los altos valores de transferencia de nutrientes pueden estar también determinados por el comportamiento perennifolio de la especie, que favorece la deposición de partículas de suelo en las hojas del árbol durante el periodo seco. No se encontró una asociación significativa entre los rasgos de tipo categórico (forma de la copa, textura de la hoja haz y envés y tipo de hoja) y las diferencias obtenidas bajo y fuera de la copa para los elementos P total, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺.

CONCLUSIONES

Los nutrientes en la copa de los árboles, ya sea por depósitos o exudados, constituyen un aporte adicional al sistema productivo para el crecimiento de las plantas al inicio de la temporada lluviosa. De hecho, hay un efecto positivo del árbol en cuanto a la captura y transferencia hacia el suelo de P, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺. El K⁺ es el nutriente que presenta mayor diferencia entre el agua recogida bajo la copa y fuera, seguido por el Mg²⁺ y el Ca²⁺.

Sin embargo, existen diferencias entre especies en cuanto al depósito de nutrientes debajo de la copa. El lavado de nutrientes producido por la lluvia que atraviesa la copa de los árboles es mayor en las especies de hojas perennes y con una área foliar alta. Igualmente, existe una correspondencia entre los rasgos que disminuyen la transferencia de lluvia y los que favorecen un mayor lavado de nutrientes, como en el caso de *Coccoloba* sp.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Belén. 2011. Resumen del plan de desarrollo municipal de Belén con elementos de ordenamiento territorial y enfoque de cuenca. Belén, Nicaragua. 27 p.
- Andrade, GC; Da Silva, HD; Ferreira, CA; Bellote, AFJ; Moro, L. 1995. Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *Bosque* 16(1):47-51.
- Bhat, S; Jacobs, JM; Bryant, ML. 2011. The chemical composition of rainfall and throughfall in five forest communities: a case study in Fort Benning, Georgia. *Water, Air, & Soil Pollution*: 1-10.
- Campo, J; Maass, JM; Jaramillo, VJ; Yrizar, AM. 2000. Calcium, potassium, and magnesium cycling in a Mexican tropical dry forest ecosystem. *Biogeochemistry* 49(1):21-36.
- Cháidez, JN; González, JM; Rodríguez, HG. 2008. Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México. *Terra Latinoamericana* 26(1):62.
- Cornelissen, JH; Lavorel, S; Garnier, E; Díaz, S; Buchmann, N; Gurvich, DE; Reich, PB; Ter Steege, H; Morgan, HD; Van Der Heijden, MGA; Pausas, JG; Poorter, H. 2003. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* (51):335-380.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2011. InfoStat versión 2011. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, Grupo InfoStat. <http://www.infostat.com.ar>
- Earon, A. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, version 21. ISBN(s): 0875530478.1368 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. El cambio climático hará disminuir el agua disponible para la agricultura. Consultado 30 enero 2012. Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/79964/icode/>
- Gallardo, A; Covelo, F; Morillas, L; Delgado, M. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas* 18(2):4-19.
- Holdridge, LR. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Humberto Jiménez Saa. IICA. San José, Costa Rica. 216 p.
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2005. Meteorología en Nicaragua; características del clima de Nicaragua. Consultado 10 febrero 2011. Disponible en <http://webserver2.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/clima%20nic/caracteristicasdelclima.html>
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2011. Áreas técnicas – Meteorología – Normas históricas – Rivas. Consultado 10 febrero 2011. Disponible en <http://www.ineter.gob.ni/>
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis; contribuciones de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación. Ginebra, Suiza, IPCC. 104 p.
- Jaramillo, A. 2003. La lluvia y el transporte de nutrientes dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. *Cenicafé* 54(2):134-144.
- Jaramillo, A. 2005. La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 29(112-113):371.
- Olivero, S. 2011. Functional trait approach to assess the ecological processes of drought tolerance and water use efficiency in silvopastoral systems in Rivas Department, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 75 p.
- Ortiz, EMG. 2006. Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido. Tesis Doctoral. Almería, España, Universidad de Almería. 438 p.
- Quintero, M. 2010. Servicios ambientales hidrológicos en la región andina: estado del conocimiento, la acción y la política para asegurar su provisión mediante esquemas de pago por servicios ambientales, Lima, Perú, IEP/CONDESAN. 277 p. (Agua y Sociedad, 12; Serie Panorama Andino, 1).
- Rivera, BD; Guarín, FA. 2009. Intercepción de partículas suspendidas totales (PST) por cinco especies de árboles urbanos en el Valle de Aburrá. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (47):59-66.
- Silva, MM; Rollán, AA; Bachmeier, OA. 2006. Biodisponibilidad de fósforo en un suelo del sur de Santa Fe (Argentina); efectos de dos fuentes fosfatadas y sus mezclas con urea. *Agriscientia* 23(2):91-97
- Stevens, WD; Pool, A; Montiel, OM; Ulloa, CU; Garden, MB. 2001. Flora de Nicaragua. St. Louis, Mi., Missouri Botanical Garden. 2666 p.

Avances de Investigación

Estrés calórico en ganado de doble propósito bajo pastoreo, en función del nivel de cobertura arbórea en potreros

Francisco García¹; Danilo Pezo²; Fernando Casanoves³; Muhammad Ibrahim⁴; Cristina Skarpe⁵

RESUMEN

Se buscó determinar el efecto del nivel de cobertura arbórea en potreros, sobre el estrés calórico de ganado lactante de doble propósito (*Bos taurus* × *Bos indicus*) manejado bajo pastoreo, y si dicho efecto varía en función del estado de lactancia, la época del año y la hora del día. Se evaluaron dos indicadores fisiológicos del estrés calórico: temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR) en animales de seis fincas del municipio de Belén (Rivas, Nicaragua). El estudio abarcó parte de la época seca (enero a mayo) e inicios de la época lluviosa (junio a agosto) del 2010. Las variables ambientales se registraron por medio de una estación meteorológica portátil. Se utilizó un diseño de parcelas subdivididas en el tiempo; la época del año × nivel de cobertura fue la parcela principal, el estado de lactancia, la subparcela y el período del día, la sub-subparcela. Producto del estrés calórico, TR y FR fueron mayores en la época de lluvias que en la seca; en esta última, la humedad relativa fue menor y el viento contribuyó a que las vacas disiparan el calor por convección y conducción ($r = -0,51$; $p < 0,001$). La interacción época × cobertura arbórea y el factor período del día ($p < 0,01$) afectaron significativamente la TR ($p < 0,05$). De la misma manera, la FR fue afectada por la cobertura arbórea ($p < 0,01$) y por el factor época ($p < 0,001$). El estado de lactancia no afectó la TR ni la FR. Si bien la temperatura ambiente se redujo ($p < 0,01$) y la humedad relativa se incrementó ($p < 0,01$) bajo la copa de los árboles, este efecto varió en función de las especies de árboles.

Palabras claves: Temperatura rectal, frecuencia respiratoria, sistemas silvopastoriles, cubierta de copas, Rivas, Nicaragua.

ABSTRACT

Incidence of pasture tree cover on thermal stress of dual purpose crossbred cattle

The effects of pasture tree cover on thermal stress of dual purpose crossbred cattle (*Bos taurus* × *Bos indicus*) were analyzed; also, it was determined if such effects varied with the stage of lactation, the season and time of day. Two physiological parameters related to thermal stress were determined: rectal temperature (TR) and respiratory frequency (FR). The study was carried out in Belen (Rivas, Nicaragua), and spanned from the dry season (February – May) to the beginning of the rainy season (June – August). Environmental traits were registered using a portable meteorological station. A split plot design was used; the main plot was season × tree cover, lactation was the sub-plot and the time of day was the sub-subplot. TR and FR were higher during the rainy season, because the lower relative humidity and higher wind speed during the dry season helped animals to dissipate heat by convection and conduction ($r = -0,51$; $p < 0,001$). TR was affected ($p < 0,05$) by both the season × pasture tree cover interaction and time of day ($p < 0,01$). FR was affected by pasture tree cover ($p < 0,01$) and season ($p < 0,001$). The stage of lactation did not affect neither TR nor FR. Temperature tended to be lower ($p < 0,01$) and higher the relative humidity ($p < 0,01$) under the tree canopy; nonetheless, the magnitude of such effects varied with tree species.

Keywords: Rectal temperature, respiratory frequency, silvopastoral systems, tree cover, Rivas, Nicaragua.

INTRODUCCIÓN

Los bovinos son animales homeotermos que se mantienen cómodos dentro de un rango estrecho de temperatura ambiental, conocido como “zona de termo-neutralidad”. Dentro de esta zona, el ganado presenta un gasto energético mínimo para regular la temperatura corporal (Nardone *et al.* 2006). En el caso del ganado de doble

propósito *Bos taurus*, el límite superior de la zona de termo-neutralidad varía entre 21 y 27°C (Pezo e Ibrahim 1999, Singh *et al.* 2008), mientras que para el *Bos indicus* está alrededor de los 32°C, aunque por debajo de los 40°C (Singh *et al.* 2008); para los cruces *B. taurus* × *B. indicus*, los valores de temperatura crítica son intermedios.

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

2 International Livestock Research Institute (ILRI), Kampala, Uganda. Correo electrónico: d.pezo@cigar.org

3 Unidad de Biometría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: casanoves@catie.ac.cr

4 Representante Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Belice. Correo electrónico: mibrahim@catie.ac.cr

5 Hedmark University College, Faculty of Applied Ecology and Agricultural Sciences, Elverum, Norway. Correo electrónico: christina.skarpe@hihm.no

Cuando los animales enfrentan condiciones de calor excesivo, activan mecanismos de autorregulación; entre ellos, sudoración alta, respiración más acelerada, jadeo, salivación excesiva y tienden a permanecer acostados bajo la sombra (Finch 1986, Beatty *et al.* 2006). Si estas condiciones se prolongan, los animales reducen el consumo de alimentos y, por ende, la energía disponible para el crecimiento y la producción de leche (Fuquay 1981). Cuando fallan los mecanismos de regulación del estrés calórico se detectan incrementos en parámetros fisiológicos tales como la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria (Brown-Brandl *et al.* 2005, Tucker *et al.* 2008).

Los árboles en los potreros ayudan a crear un microclima favorable bajo su copa (Rao *et al.* 1997); la sombra y la reducción de temperatura contribuyen a mejorar el intercambio calórico del ganado con el ambiente y a disipar los efectos nocivos de la radiación solar, que también incide en la carga calórica (Tucker *et al.* 2008). En estudios del impacto de la sombra artificial sobre los parámetros fisiológicos del ganado se ha detectado una reducción importante en la frecuencia respiratoria (Blackshaw y Blackshaw 1994) y un efecto menor sobre la temperatura rectal (Mitlohner *et al.* 2001). Abreu (2002) observó reacciones similares en vacas lactantes que tenían acceso a potreros con árboles.

En la presente investigación se busca determinar el efecto del nivel de cobertura arbórea en potreros sobre la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria en ganado lactante de doble propósito manejado bajo pastoreo, y si dicho efecto varía en función del estado de lactancia de las vacas, la época del año y la hora del día.

Descripción del sitio

La investigación se desarrolló en seis fincas del municipio de Belén, Rivas (Nicaragua), localizadas entre los 85°57' y 85°59' W y 11°33' y 11°36' N. La elevación oscila entre 100 y 200 msnm (Inifom 2008). Los suelos son de origen aluvial, coluvial y volcánico. Los órdenes de suelo presentes son los vertisoles y molisoles; el material parental de estos suelos es la lutita (Inifom 2008).

El sitio se ubica a la zona de vida bosque seco tropical (Holdridge 1978). La temperatura media anual es de 27,0 ± 0,78°C; los valores ambientales registrados durante el experimento se muestran en el Cuadro 3. Entre diciembre e inicios de mayo ocurre un período seco y entre la segunda quincena de mayo y noviembre, el período lluvioso. La precipitación media anual es de 1450 mm; el 96% de las lluvias ocurren en el período de lluvias (Ineter

2012). El estudio se efectuó entre febrero y agosto del 2010, por lo que cubrió parte del período seco (febrero a mayo) e inicios del período de lluvia (junio a agosto).

Pasturas predominantes y manejo de los potreros

En las fincas evaluadas predominaron las pasturas jaragua (*Hypparrhenia rufa*), angleton (*Dichanthium aristatum*), pasto natural (con dominancia de *Paspalum* sp.) y gamba (*Andropogon gayanus*) (Cuadro 1). Durante la época seca muchos de los productores acostumbran a suplementar el ganado con pollinaza, pastos de corte, sal común y sales minerales. Los periodos de ocupación del ganado en los potreros variaron entre 1-2 días en la época seca y hasta 4 días durante el período de lluvias.

Ya que el manejo de los potreros es determinado por el productor, durante el período de ocupación del ganado se hizo al menos una medición de las variables fisiológicas asociadas al estrés calórico para cada uno de los tratamientos (Cuadro 1).

Estimación del nivel de cobertura arbórea

De acuerdo con el inventario de árboles realizado por Silpas y FunciTree (2010), las diez especies arbóreas más frecuentemente encontradas en la zona de estudio son: guácimo (*Guazuma ulmifolia*), laurel (*Cordia alliodora*), chiquirín (*Myrospermum frutescens*), guachipilín (*Diphysa americana*), madero negro (*Gliricidia sepium*), nancite (*Byrsonima crassifolia*), coyol (*Acrocomia mexicana*), roble (*Tabebuia rosea*), jícaro (*Crescentia alata*) y quebracho (*Lysiloma auritum*).

Para determinar el tamaño de las copas de los árboles se usaron imágenes satelitales con una resolución de 1 m² y se digitalizaron las copas de los árboles con ArcView 3.2, a una escala de 1:800 (Cuadro 1). A partir de la relación área de copas/tamaño del potrero, se clasificaron los potreros en tres niveles de cobertura arbórea: baja (<8%), media (10-17%) y alta (>23%). Cabe anotar que esos niveles de cobertura son producto del manejo que le dan los productores de la zona a los potreros, el cual incide en la presencia de árboles dispersos en potreros, en bosques ribereños y en cercas vivas. Para la estimación de la cobertura arbórea se incluyeron los tres tipos de cobertura arbórea, pero los bosques ribereños se consideraron sólo si los productores permitían el acceso del ganado a dichas áreas.

Selección de los animales

Para el experimento se utilizaron cruces de ganado *B. taurus* × *B. indicus*; se evitaron los animales con alta

Cuadro 1. Características de los potreros evaluados en las seis fincas

Finca	Nombre del potrero	Área del potrero (m ²)	Cobertura arbórea (m ²)	Clase de cobertura arbórea	Cobertura %	Pastura dominante	Repeticiones	
							Seca	Lluviosa
1	La loma	28.924,2	3.651,5	Medio	74,0	<i>P. notatum</i>	1	1
1	La uva	35.548,5	10,2	Bajo	77,0	<i>H. rufa</i>	0	1
2	# 2	45.942,6	3.002,6	Bajo	66,8	<i>P. notatum</i>	0	1
2	# 3	88.179,4	20.409,1	Alto	67,5	<i>P. notatum</i>	1	1
3	Guácimo	79.150,0	2.636,5	Bajo	88,0	<i>D. aristatum</i>	0	1
3	Loma 1	6.143,8	44.442,8	Medio	S/D	-	1	1
3	Mango	14.756,5	40.637,9	Alto	S/D	-	1	0
3	Manguito	135.852,0	37.414,4	Alto	84,5	<i>D. aristatum</i>	1	1
4	Carmen peña	32.236,8	2.477,4	Bajo	84,3	<i>H. rufa</i>	1	1
4	Hospital	26.113,3	2.598,9	Medio	89,2	<i>H. rufa</i>	1	1
4	Jícaros	16.679,5	480,5	Bajo	S/D	-	1	0
4	Pochote	17.677,5	2.568,0	Medio	S/D	-	0	1
5	Carol	21.825,7	2.466,5	Medio	S/D	-	1	0
5	El plan	17.555,9	1.483,9	Bajo	86,5	<i>P. notatum</i>	1	0
5	Espavel	25.362,1	2.802,4	Medio	72,8	<i>P. notatum</i>	1	1
5	Guanacaste	16.618,5	4.483,1	Alto	S/D	-	1	0
5	La huerta	17.158,5	1.031,0	Bajo	27,0	<i>P. notatum</i>	1	1
5	Nispero	22.298,5	5.579,1	Alto	79,5	<i>P. notatum</i>	1	0
6	El plan	87.764,3	20.224,9	Alto	S/D	-	1	1
6	Limón	76.883,9	15.136,5	Medio	72,2	<i>A. gayanus</i>	1	1

S/D: Potreros donde no se determinó la cobertura de pastos.

proporción de raza europea. En ausencia de registros, la definición del genotipo se basó en las características fenotípicas sobresalientes del ganado. Entre las razas representadas en los cruces se reconocieron simmental, pardo suizo y criollo (reyna) entre los *B. taurus*; y brahman e indobrasil entre los *B. indicus*.

Para el experimento se seleccionaron 26 vacas: 11 en etapa inicial de lactancia (<3 meses) y 15 en etapa tardía (>5 meses). Dicha información fue proporcionada por el productor.

Registro de variables ambientales

Durante el período de febrero a agosto del 2010 se registraron los valores de temperatura ambiente (Ta, °C), humedad relativa (HR, %), radiación solar (R_s, W/m²), punto de rocío (T_{pr}, °C) y velocidad del viento (V_v, m/s) por medio de una estación meteorológica portátil⁶.

El registro de las variables ambientales se inició a las 08:00 horas, cuando se traslada el ganado a los potreros. Los datos fueron registrados a intervalos de 5 min. Los sensores de la estación meteorológica se colocaron en

trípodes a 1,25 m sobre el suelo y el anemómetro se colocó a 2,0 m sobre el suelo, en un tubo galvanizado como extensión. Al inicio del experimento no se registraron las mediciones de velocidad del viento.

Para determinar el efecto combinado de la humedad relativa (%) y la temperatura (°C) se estimó el ITH (índice de temperatura-humedad), tal como recomiendan Dikmen y Hansen (2009), aunque para este estudio se empleó la ecuación desarrollada por Hahn y Mader (1997).

$$ITH = (0,81 \times Ta) + \left[\left(\frac{HR}{100} \right) \times (Ta - 14,4) \right] + 46,4$$

ITH = índice de temperatura-humedad

Ta= temperatura ambiente

HR= humedad relativa (%)

Medición de temperatura y humedad relativa bajo y fuera de la copa de los árboles

Para determinar los valores de la Ta (°C), la HR (%), el punto de rocío (T_{pr}, °C) y temperatura del bulbo húmedo (T_{bh}, °C) se emplearon termo-higrómetros⁷

6 Vantage Pro2. Davis Instrument Co., Hayward, CA 94545, USA

7 Extech Modelo EA25, Extech Instruments, Waltham, Massachusetts, USA

con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ para la Ta y $\pm 3\%$ para la HR a 25°C y 30 a 95% HR, ó $\pm 5\%$ para la HR a 25°C y entre 10 y 30% de HR.

Los termo-higrómetros se colocaron bajo la copa de los árboles en las áreas en donde los animales permanecían con mayor frecuencia y también a pleno sol. Las mediciones se realizaron el día previo al que se registraron las variables fisiológicas. El termo-higrómetro se mantuvo bajo el mismo árbol durante una hora; en promedio se efectuaron dos lecturas (a intervalos de 30 minutos). Las mediciones se realizaron entre los meses de mayo a agosto, pero las repeticiones en cada potrero no fueron consistentes ni en el tiempo ni en el espacio, dado que las mediciones se efectuaron cuando los potreros eran pastoreados y las decisiones de uso de las pasturas fueron tomadas por el productor. Esto hizo que no se pudieran incluir todos los potreros en todos los ciclos de evaluación.

Para determinar si había diferencias entre especies de árboles en cuanto a sus efectos sobre los parámetros ambientales, se midieron las variables ambientales bajo las especies arbóreas preferidas por el ganado en los potreros (Cuadro 2), tanto bajo la copa como fuera de ella. Los valores de las variables registradas por el termo-higrómetro a pleno sol *versus* bajo la sombra fueron analizados mediante la prueba de t-apareada. Asimismo, las diferencias entre la temperatura obtenida fuera y bajo la copa de los árboles se relacionaron con los índices de área foliar registrados por Olivero (2011) para cinco especies por medio del análisis de regresión lineal simple.

Medición de los parámetros fisiológicos

Para la determinación de la temperatura rectal se usó un termómetro digital con una precisión de $\pm 0,1^\circ\text{C}$, el cual se introdujo por vía rectal hasta una profundidad aproximada de 6 cm. La primera medición se tomó entre las 06:00 y las 10:30, luego del ordeño cuando las vacas estaban en el corral. Las otras dos lecturas se tomaron entre 10:35 y 13:00, y entre 13:05 y 17:00, cuando el ganado estaba pastoreando. Para la determinación de la frecuencia respiratoria durante la estación seca, se contó el número de veces que se ensancha o se contrae la zona torácica del animal en un período de 60 segundos; se utilizó un cronómetro y un contador manual. Durante la estación lluviosa, el registro de la frecuencia respiratoria se hizo entre dos personas: una observaba el movimiento de los belfos y la otra contaba el movimiento de los flancos para luego promediar los valores obtenidos.

Cuadro 2. Frecuencia de medición de las variables temperatura, humedad relativa, punto de rocío y temperatura del bulbo húmedo bajo las 23 especies arbóreas preferidas como sombra por el ganado

Especie	Frecuencia	Especie	Frecuencia
<i>Guazuma ulmifolia</i>	139	<i>Mangifera indica</i>	8
<i>Coccoloba caracasana</i>	26	<i>Thouinidium decandrum</i>	8
<i>Gliricidia sepium</i>	25	<i>Cassia grandis</i>	7
<i>Cordia dentata</i>	22	<i>Acrocomia mexicana</i>	7
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	21	<i>Simarouba amara</i>	7
<i>Spondias mombin</i>	18	<i>Albizia niopoides</i>	6
<i>Byrsonima crassifolia</i>	16	<i>Albizia saman</i>	4
<i>Crescentia alata</i>	13	<i>Pachira quinata</i>	3
<i>Tabebuia rosea</i>	9	<i>Haematoxylum</i> sp.	2
<i>Dalbergia retusa</i>	9	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	2
<i>Pithecellobium dulce</i>	9	<i>Cedrela odorata</i>	1
		<i>Luehea candida</i>	1
		Total	363

Diseño experimental

Se usó un diseño con estructura de parcelas subdivididas en el tiempo, en el que la época del año \times nivel de cobertura del potrero fue considerado como la parcela principal, el estado de lactancia la subparcela y el período del día la sub-subparcela. Con este tipo de diseño se pretende determinar el efecto de los factores sobre las variables fisiológicas asociadas al estrés; el supuesto de independencia estadística se logra replicando el diseño experimental en otras fincas con diferentes unidades muestrales (vacas). Las variables de respuesta fueron la temperatura rectal (TR, en $^\circ\text{C}$) y la frecuencia respiratoria (FR, respiraciones/min). El modelo lineal empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + C_i + S_j + R_m(S_j) + E_k + S_j E_k + \text{Error B} + T_1 + T_1 S_j + T_1 E_k + T_1 S_B E_k + \varepsilon_{ijklm}$$

Y_{ijkl} = Variable respuesta

μ = Media general

C_i = Efecto de la época del año

S_j = Efecto del factor nivel de cobertura arbórea

$R_m(S_j)$ = Repetición del nivel de cobertura arbórea (término de error A)

E_k = Estado de lactancia

$S_j E_k$ = Efecto de la interacción nivel de cobertura × estado de lactancia (error B asociado a las subparcelas)

T_i = Tiempo (momento del día)

$T_i S_j$ = Efecto de la interacción tiempo × nivel de cobertura

$T_i E_k$ = Efecto de la interacción tiempo × estado de lactancia

$T_i S_j E_k$ = Efecto de la interacción tiempo × nivel de cobertura × estado de lactancia

ϵ_{ijklm} = Error experimental asociado a las sub-subparcela

Para los análisis estadísticos se utilizó InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2013); por medio de modelos mixtos se determinó el efecto de los factores estudiados en la TR y la FR. Las comparaciones múltiples de medias se realizaron a partir del análisis de varianza (andeva) con la prueba LSD de Fisher a un nivel de significancia del 0,05. Se omitieron los efectos aleatorios en el modelo debido al desbalance en los datos.

Mediante el análisis de correlación de Pearson se logró determinar la asociación entre las variables. El análisis de regresión lineal permitió evaluar la magnitud del efecto de las variables ambientales sobre la respuesta fisiológica del ganado al estrés calórico. Por medio de un análisis de componentes principales se determinaron las relaciones entre TR y FR con las variables ambientales, y se confeccionaron gráficos *bi-plot*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones ambientales

Las variables ambientales registradas entre las 08:00 y las 16:00 horas en la época seca (febrero-mayo) y lluviosa (junio-agosto) se muestran en el Cuadro 3. En el Cuadro 4 se muestra la significancia de los factores para las variables respuesta TR y FR.

Temperatura rectal

Los mayores valores de ITH registrados durante la época lluviosa son indicativos de que el ganado pudo estar sometido a estrés calórico (Cuadro 3). Esto se confirmó con los mayores valores de TR registrados en la época de lluvias: 38,4°C vs. 38,1°C en la época seca. Abreu (2002) encontró también valores de TR ligeramente mayores en la época lluviosa (38,7 vs. 38,6°C, respectivamente). Aunque la temperatura ambiente fue mayor en el período seco, los mayores valores registrados en el período de lluvias son consecuencia del efecto de la humedad relativa alta, la cual posiblemente redujo la capacidad de los animales para disipar calor a través de mecanismos de sudoración y redundó en incrementos en la TR (Berman 2006, Gaughan *et al.* 2008). El viento ligeramente más fuerte en el período seco (Cuadro 3) fue un factor que pudo haber ayudado a disipar el exceso de calor corporal ($r = -0,51; p < 0,001$).

Asimismo, se encontró que la interacción época × cobertura arbórea ($p < 0,05$) afectó significativamente la TR (Figura 1). El nivel de cobertura arbórea no influyó en la TR en la época lluviosa; en cambio durante la época seca, las vacas mostraron la mayor TR en potreros con el nivel más alto de cobertura (>23%). Este resultado podría parecer contradictorio si se considera que la sombra de los árboles ayuda a reducir la temperatura; sin embargo, también contribuye a incrementar la HR, lo cual exacerba el efecto estresante de la temperatura alta (Jose *et al.* 2004). Otro aspecto que puede haber influido en los resultados es la distribución de los árboles en los potreros: en los sitios con mayor cobertura arbórea, los árboles se agruparon en pequeños bosquetes o en bosques ribereños, con escasa presencia de especies consumibles por el ganado o de difícil acceso para los animales; esto hizo que los animales permanecieran más tiempo a pleno sol.

Cuadro 3. Variables ambientales registradas en función de la época y la hora del día

Variable	Época seca			Época lluviosa		
	08:00 a 10:30	10:35 a 13:00	13:05 a 16:00	08:00 a 10:30	10:35 a 13:00	13:05 a 16:00
Ta	29,3 ± 0,07	31,8 ± 0,06	32,7 ± 0,06	28,6 ± 0,06	30,0 ± 0,05	30,0 ± 0,07
HR	66,1 ± 0,32	57,8 ± 0,27	53,8 ± 0,25	85,1 ± 0,25	80,2 ± 0,20	80,3 ± 0,28
R _s	574,9 ± 11,2	848,0 ± 10,16	529,9 ± 10,30	528,3 ± 10,65	689,3 ± 10,68	491,7 ± 9,1
V _v	0,0 ± 0,0	2,8 ± 0,07	2,2 ± 0,05	1,0 ± 0,04	1,3 ± 0,04	0,9 ± 0,03
T _{pr}	22,2 ± 0,10	22,3 ± 0,08	22,0 ± 0,07	25,8 ± 0,02	26,1 ± 0,02	26,12 ± 0,03
ITH	79,9 ± 0,10	82,1 ± 0,07	82,7 ± 0,07	81,7 ± 0,06	83,1 ± 0,05	83,1 ± 0,08

Ta=temperatura (°C), HR=humedad relativa (%), R_s=radiación solar (W/m²), V_v=velocidad del viento (m/s), T_{pr}=temperatura del punto de rocío (°C), ITH= índice de temperatura-humedad a pleno sol.

Por otra parte se encontró que el momento del día en que se tomó la TR influyó significativamente ($p < 0,01$) debido al incremento de la Ta a lo largo del periodo diurno (Figura 2, Cuadro 3). Además, debe recordarse que hay un efecto acumulativo de la carga calórica que sufre el animal, por lo que el efecto del estrés calórico se hace más evidente a medida que progresa el tiempo de exposición a las temperaturas altas (Gaughan *et al.* 2008). Es posible que los efectos mencionados hubieran sido aún mayores si se hubiera trabajado con vacas de raza europea (*B. taurus*). Los cruces con *B. indicus* tienen una mayor tolerancia a las altas temperaturas (Finch 1986, Srikandakumar y Johnson 2004, Beatty *et al.* 2006), dada la contribución que hacen las razas cebuínas a la capacidad de ejercer un intercambio calórico más efectivo con el ambiente (Dowling 1955, Berman 2006).

Frecuencia respiratoria

La FR fue afectada por el factor época ($p < 0,001$): los valores de FR fueron más altos en la época lluviosa que en la seca ($63,0 \pm 2,12$ vs. $40,0 \pm 2,34$). Estos resultados coinciden con lo observado para la TR. Se sabe que bajo condiciones de humedad relativa alta (Cuadro 3) se reduce la capacidad para disipar el calor por medio de la evaporación (West 2003); además que disminuye la efectividad del enfriamiento por medio de la sudora-

ción y la respiración (Blackshaw y Blackshaw 1994) y se complican los problemas asociados con la temperatura ambiente (Gaughan *et al.* 2000, Brown-Brandl *et al.* 2005). La combinación de esas condiciones favoreció el incremento de la FR durante el período de lluvias.

La FR tendió a incrementarse ($p < 0,05$) en el transcurso del día, independientemente de la época, lo cual guardó relación con el incremento en el ITH (Figura 3). Si bien en el último período diurno no se presentan los mayores valores de temperatura ambiente y HR (Cuadro 3), la respuesta observada confirma la importancia del efecto acumulativo del estrés calórico al que se someten los animales (Gaughan *et al.* 2008).

De la misma manera, se encontró que la cobertura arbórea influyó sobre la FR ($p < 0,01$), ya que los valores mayores se registraron en el nivel medio de cobertura (10-17%) ($58,6 \pm 2,5$ resp/min), comparado con los

Cuadro 4. Resultado del análisis de varianza (andeva) para los factores asociados con la temperatura rectal y frecuencia respiratoria

Factor	Temperatura rectal		Frecuencia respiratoria	
	GL	p-valor	GL	p-valor
Época	1	<0,0001	1	<0,0001
Hora	2	<0,0001	2	0,0113
Cobertura	2	0,2474	2	0,0020
Lactancia	1	0,4565	1	0,8989
Época × hora	2	0,6223	2	0,3378
Época × cobertura	2	0,0422	2	0,3334
Época × lactancia	1	0,0903	1	0,2528
Hora × cobertura	4	0,9667	4	0,9829
Cobertura × lactancia	2	0,1071	2	0,4195
Hora × lactancia	2	0,1913	2	0,9428
Época × hora × cobertura	4	0,7503	4	0,9515
Época × cobertura × lactancia	2	0,9239	2	0,8188
Época × hora × lactancia	2	0,9021	2	0,9044
Hora × cobertura × lactancia	4	0,7708	4	0,8495
Época × hora × cobertura × lactancia	3	0,6390	4	0,9982

GL= grados de libertad

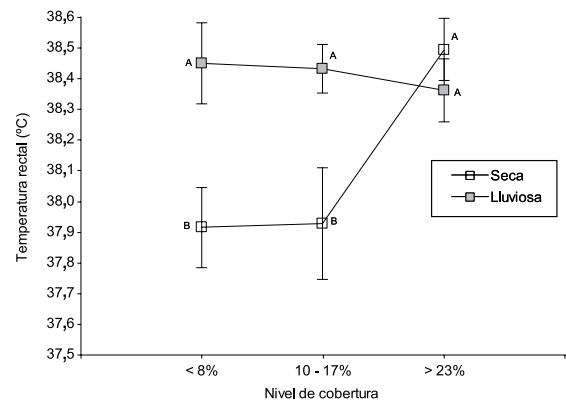


Figura 1. Temperatura rectal en vacas lactantes de doble propósito manejadas bajo pastoreo, en función del nivel de cobertura arbórea y la época del año

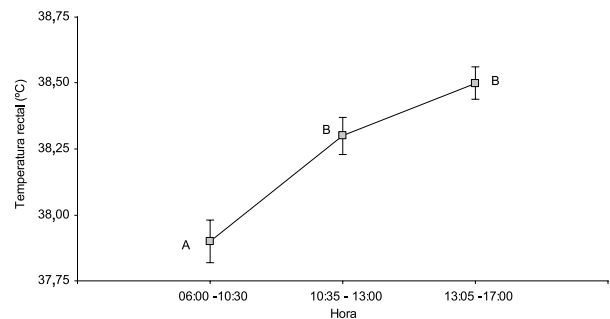


Figura 2. Temperatura rectal promedio ± error estándar de vacas doble propósito manejadas bajo pastoreo, en función del período del día.

niveles bajo y alto ($44,7 \pm 3,0$ vs. $51,3 \pm 2,5$ resp/min, respectivamente) (Figura 4). Las razones para explicar este resultado no son evidentes, pero es posible que el menor ejercicio efectuado por el ganado en los potreros con baja cobertura haya incidido en valores más bajos de FR; en contraste, la mayor actividad física de desplazamiento en los potreros con cobertura media puede haber contribuido al incremento de la FR.

Los valores de frecuencia respiratoria inferiores a 60 por minuto sugieren que los animales estaban por debajo de los límites críticos de estrés calórico (Gaughan *et al.* 1999) pese a las altas temperaturas registradas. De nuevo, hay que tener en cuenta que se trabajó con animales cruzados (*B. taurus* × *B. indicus*), mejor adaptados a las condiciones tropicales de clima caliente (Beatty *et al.* 2006).

No se detectó efecto del estado de lactancia sobre la frecuencia respiratoria ni la temperatura rectal, efecto que sí se ha observado en razas lecheras de origen europeo (Maust *et al.* 1972). Es posible que ese factor no sea tan

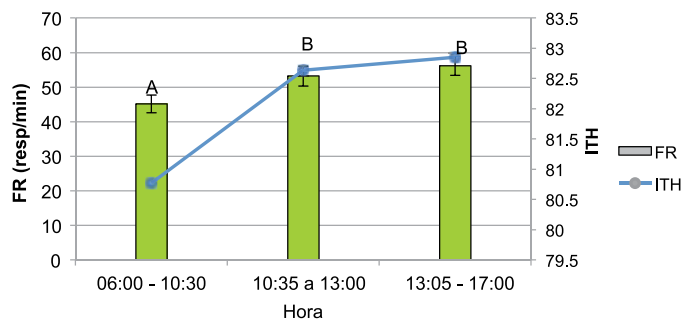


Figura 3. Frecuencia respiratoria (FR) en vacas lactantes *B. taurus* × *B. indicus* en función del período del día y del índice temperatura-humedad (ITH)

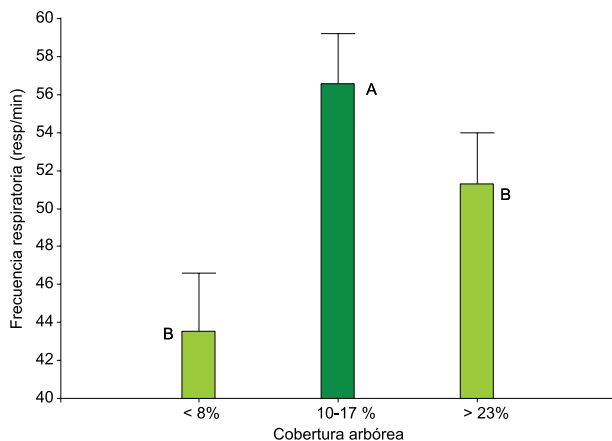


Figura 4. Frecuencia respiratoria (resp/min), del ganado lactante en función del nivel de cobertura arbórea en los potreros.

crítico en animales cruzados con niveles más bajos de producción de leche.

Efecto del ambiente sobre los parámetros fisiológicos

Se configuraron gráficos *bi-plot* para determinar el efecto de las variables ambientales sobre los parámetros fisiológicos. Se encontró que en la época seca (Figura 5a), el eje 1 del gráfico explicó el 42% y el eje 2 el 24% de la inercia; las variables ambientales con mayor peso en el eje 1 (medidos por los autovectores) fueron la temperatura ambiente (0,49) y la velocidad del viento (-0,29). Además, se observó una correlación positiva entre la TR y el ITH, y entre la FR y Ta. Por el contrario, se encontró que la TR no tiene relación con la R_s para esa época, la cual sugeriría que no contribuye a incrementar la carga calórica del animal; no obstante, sí se halló una relación con la Ta, tal como lo reportaron Mader *et al.* (2006).

Para la época lluviosa (Figura 5b), el eje 1 explicó el 58% de la inercia y el eje 2 el 16%. En este período, las variables ambientales de mayor peso en el eje 1 fueron la Ta (0,45) y la HR (-0,42). La TR y la FR se asociaron al T_{pr} , el cual es un buen indicador de la disipación de calor por evaporación y por conducción en condiciones cálidas (Dikmen y Hansen 2009).

Durante la época lluviosa, la T_{pr} fue superior que durante la seca ($25,9 \pm 0,01$ vs. $21,5 \pm 0,04$), lo cual confirma que durante la época seca las vacas requieren un menor esfuerzo para enfriarse debido al efecto refrescante del viento. De acuerdo a Kadzere *et al.* (2002), el efecto evaporativo producido por la sudoración y el jadeo es efectivo si hay viento.

Efecto de los árboles

La presencia de árboles en los potreros tendió a reducir la temperatura ambiente ($p < 0,01$) e incrementar la HR ($p < 0,01$); en promedio, se obtuvieron diferencias de $-1,5^\circ\text{C}$ y $+4,0\%$ al comparar las condiciones bajo la copa de los árboles y a pleno sol. Rao *et al.* (1997) y Jose *et al.* (2004) obtuvieron resultados similares. Sin embargo, la magnitud de dichos efectos varió ampliamente con las especies de árboles (Cuadro 5).

La presente investigación no contempló la medición del índice de área foliar (IAF) en los árboles, por lo cual se usaron los valores de IAF obtenidos por Olivero (2011) para cinco especies presentes en los potreros estudiados. Estos valores se relacionaron con las diferencias de temperatura encontradas a pleno sol y bajo la copa (Figura 6). El resultado ($r^2 = 0,68$) sugiere que el IAF

Cuadro 5. Incremento (+) o descenso (-) en las variables medidas bajo la copa de especies arbóreas (punto de comparación: a pleno sol)

Especie	Ta (°C)	HR (%)	T _{pr} (°C)	T _{bh} (°C)
<i>Byrsonima crassifolia</i>	-2,95	+12,95	-0,20	-0,80
<i>Pithecelobium dulce</i>	-2,73	+5,26	-1,38	-1,61
<i>Coccoloba caracasana</i>	-2,68	+8,83	-0,54	-1,00
<i>Guazuma ulmifolia</i>	-1,45	+3,08	-0,68	-0,81
<i>Gliricidia sepium</i>	-1,25	+4,45	-0,31	-0,50
<i>Albizia saman</i>	-1,03	+1,78	-0,62	-0,70
<i>Mangifera indica</i>	-0,95	+4,03	-0,25	+0,05
<i>Cordia dentata</i>	-0,77	+3,86	-0,02	-0,69
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	-0,55	+3,14	-0,10	-0,03
<i>Crescentia alata</i>	-0,48	+0,90	-0,31	-0,33
<i>Dalbergia retusa</i>	-0,40	-0,60	-0,50	-0,50

Ta=temperatura, HR=humedad relativa, T_{pr} =punto de rocío, T_{bh} =temperatura del bulbo húmedo

puede ayudar a explicar al menos en parte los resultados obtenidos con el resto de especies evaluadas en el presente trabajo.

El microclima que crean los árboles no sólo contribuye a prevenir el estrés calórico de los animales, sino que también incide en cambios en el comportamiento animal bajo pastoreo (Blackshaw y Blackshaw 1994). Por ejemplo, bajo las condiciones en que se desarrolló el estudio, las vacas lactantes producto de los cruces *B. taurus* × *B. indicus* empezaron a buscar la sombra cuando la temperatura alcanzó los 29,7°C, pero cuando esta fue de 33°C, todos los animales buscaron la sombra para descansar. De igual manera, se encontró que cuando la temperatura alcanzó los 30°C, el 50% de las vacas lactantes estaban rumiando y cuando la temperatura llegó a los 36°C, todos los animales rumiaban (García Cruz 2010).

CONCLUSIONES

La humedad relativa alta que se presenta en el período de lluvias hace más marcado el efecto de la Ta sobre el estrés calórico, resultando en TR y FR más altas. Sin embargo durante la época seca, el viento fue un agente coadyuvante en la disipación del exceso de calor en las vacas.

Los árboles localizados en los potreros contribuyeron a reducir la Ta pero incrementaron la HR. La magnitud

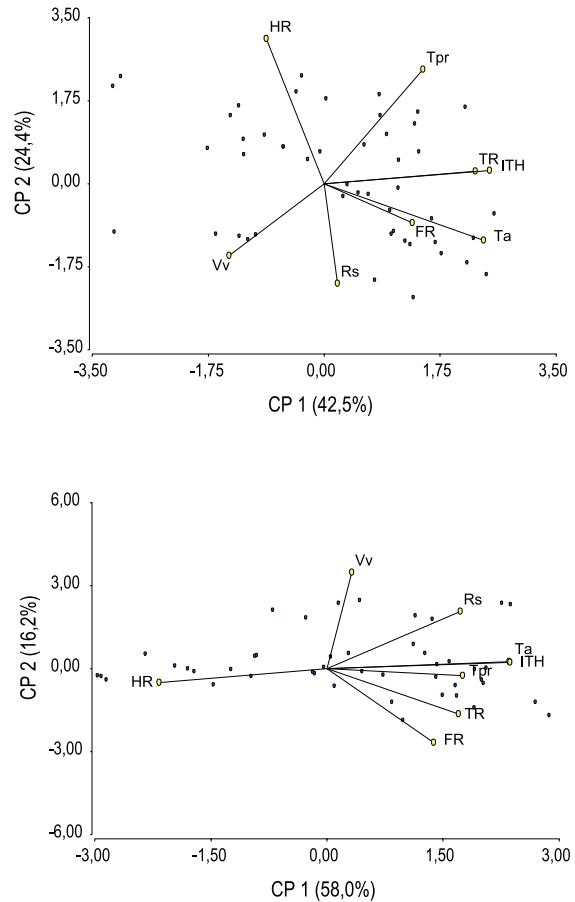


Figura 5. Relación espacial entre la temperatura rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR) con la temperatura ambiental (Ta), humedad relativa (HR), radiación solar (R_s), velocidad del viento (V_v), temperatura de punto de rocío (T_{pr}) e ITH en dos épocas; (a) seca, (b) lluviosa

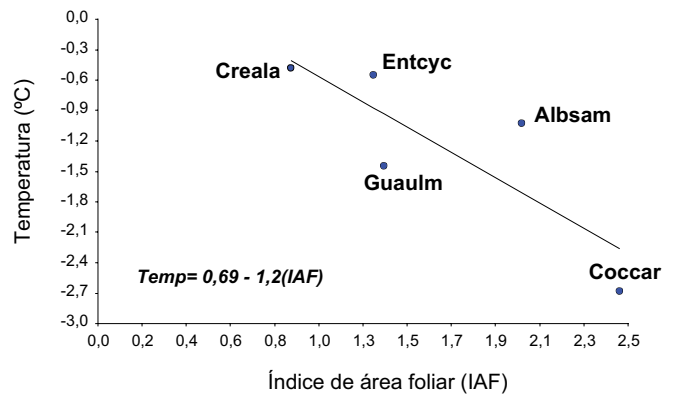


Figura 6. Relación lineal entre la reducción de temperatura de los árboles y el IAF para las especies *Albizia saman* (Albsam), *Coccoloba caracasana* (Coccar), *Crescentia alata* (Creala), *Enterolobium cyclocarpum* (Entcyc) y *Guazuma ulmifolia* (Guaulm).

de dichos efectos varía con la especie y la época del año. *B. crassifolia*, *P. dulce* y *C. caracasana* fueron las especies que registraron las mayores diferencias.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue desarrollada gracias al apoyo financiero del proyecto Silpas (*Trees as Drivers of Silvopastoral System Function in the Neotropics*). Agradecemos la asistencia en campo de Sulma Rosales y la colaboración de los productores de las comunidades de Mata de Caña y Cantimplora, en Rivas, Nicaragua.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, MHS., de. 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, Costa Rica, CATIE. 52 + 47 p. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0205E/A0205E.PDF>
- Beatty, DT; Barnes, A; Taylor, E; Pethick, D; McCarthy, M; Maloney, SK. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science* 84(4): 972-985.
- Berman, A. 2006. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief *Journal of Dairy Science* 89(10): 3817-3825.
- Blackshaw, J; Blackshaw, A. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34(2): 285-295.
- Brown-Brandl, T; Eigenberg, R; Nienaber, J; Hahn, G. 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle. Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering* 90(4): 451-462.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. 2013. InfoStat Version 21-08-2012. <http://www.infostat.com.ar/>
- Dikmen, S; Hansen, PJ. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science* 92(1): 109-116.
- Dowling, D. 1955. The hair follicle and apocrine gland populations of Zebu (*Bos indicus* L.) and Shorthorn (*B. taurus* L.) cattle skin. *Australian Journal of Agricultural Research* 6(4): 645-654.
- Finch, VA. 1986. Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science* 62(2): 531-542.
- Fuquay, JW. 1981. Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science* 52(1): 164-174.
- García Cruz, FJ. 2010. Efecto de la cobertura arbórea en potreros y el estado de lactancia sobre el comportamiento diurno de ganado doble propósito manejado bajo pastoreo en el trópico sub-húmedo. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 96 p.
- Gaughan, JB; Mader, TL; Holt, SM; Josey, MJ; Rowan, KJ. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *Journal of Animal Science* 77(9): 2398-2405.
- Gaughan, JB.; Holt, SM; Hahn, GL; Mader, TL; Eigenberg, R. 2000. Respiration rate - is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 13(Suppl.): S329-S332.
- Gaughan, JB; Mader, TL; Holt, SM; Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86(1): 226-234.
- Hahn, GL; Mader, TL. 1997. Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. In *Proceedings, International Livestock Environment Symposium* (5th, St. Joseph, MI).
- Holdridge, L. 1978. *Ecología basada en zonas de vida* San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2012. *Meteorología, normas históricas*. Managua. <http://www.ineter.gob.ni/>
- Inifom (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal). 2008. Ficha municipal para el municipio de Belén. Managua, Nicaragua. <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/RIVAS/belen.pdf>
- Jose, S; Gillespie, AR; Pallardy, SG. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry *Agroforestry Systems* 61-62(1): 237-255.
- Kadzere, CT; Murphy, MR; Silanikove, N; Maltz, E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science* 77(1): 59-91.
- Mader, TL; Davis, MS; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 84(3): 712-719.
- Maust, LE; McDowell, RE; Hooven, NW. 1972. Effect of summer weather on performance of Holstein cows in three stages of lactation *Journal of Dairy Science* 55(8): 1133-1139.
- Mitlohner, FM; Morrow, JL; Dailey, JW; Wilson, SC; Galyean, ML; Miller, MF; McGlone, JJ. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 79(9): 2327-2335.
- Nardone, A; Ronchi, B; Lacetera, N; Bernabucci, U. 2006. Climatic effects on productive traits in livestock. *Veterinary Research Communications* 30(Supl. 1): S75-S81.
- Olivero Lora, S. 2011. Functional traits approach to assess the ecological processes of drought tolerance and water use efficiency in silvopastoral systems of Rivas department, Nicaragua. MSc Thesis. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 74 p.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. *Sistemas silvopastoriles*. 2 ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 276 p. (Colección Módulos de Enseñanza No. 2).
- Rao, M; Nair, P; Ong, C. 1997. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems *Agroforestry Systems* 38(1): 3-50.
- Silpas (*Trees as Drivers of Silvopastoral System Function in the Neotropics Project, CR*); FunciTree (*Functionality traits, CR*). 2010. *Inventario de árboles en potreros de Cantimplora y Mata de Caña*. Rivas, Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Singh, SV; Upadhyay, RC; Ashutosh. 2008. Impact of temperature rise on bovine production performance under limited available feed resources. *Journal of Farming Systems Research and Development* 14(1): 140-143.
- Srikandakumar, A; Johnson, E. 2004. Effect of heat stress on milk production, rectal temperature, respiratory rate and blood chemistry in Holstein, Jersey and Australian Milking Zebu cows. *Tropical Animal Health and Production* 36(7): 685-692.
- Tucker, CB; Rogers, AR; Schütz, KE. 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science* 109(2/4): 141-154.
- West, JW. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86(6): 2131-2144.

Modelo experto participativo para la selección de árboles multifuncionales en potreros por medio de redes bayesianas¹

Álvaro Salazar², Cristóbal Villanueva³, Carlos R. Cerdán⁴, Tamara Benjamin⁵, David N. Barton⁶

RESUMEN

Se desarrolló un 'modelo experto' para el diseño de potreros ideales mediante combinaciones de árboles en cercas vivas y árboles dispersos en potrero. La herramienta utiliza información sobre los tipos de productores y sus preferencias, conocimiento local sobre las especies arbóreas y sus beneficios, y el conocimiento de especialistas sobre los rasgos funcionales en el diseño de sistemas silvopastoriles. El modelo identifica combinaciones de especies arbóreas que permiten mejorar la provisión de servicios ecosistémicos, según objetivos de producción en finca. El modelo permite comparar resultados entre sistemas silvopastoriles que proveen los beneficios deseados.

Palabras claves: Adopción, sistemas silvopastoriles, rentabilidad, ganadería, servicios ecosistémicos, Rivas, Nicaragua.

ABSTRACT

Expert participative model for multifunctional tree selection on pastures using Bayesian networks

An expert system for the design of ideal livestock pastures using combinations of trees in live fences and pastures was developed using Bayesian networks. The tool was created with information on types of farmers and their preferences, local knowledge about tree species and their benefits, and scientific knowledge about functional traits in the design of silvopastoral systems. The model identifies combinations of multifunctional trees which improved ecosystem services provision. Also, it permits the comparison of results obtained with different silvopastoral systems that provide similar services.

Keywords: Adoption, silvopastoral systems, profitability, livestock, ecosystem services, Rivas, Nicaragua.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas silvopastoriles son una opción de manejo eficiente de los recursos productivos en fincas ganaderas, ya que potencialmente proporcionan beneficios sociales, económicos y ambientales. Los árboles en los potreros (dispersos y en cercas vivas) pueden proporcionar beneficios económicos y ecológicos. Entre los primeros se cuentan la producción de forraje, frutos para consumo humano y animal y productos maderables, mientras que entre los segundos están el secuestro de carbono, la conservación de la biodiversidad y del la regulación del ciclo hidrológico (Sánchez *et al.* 2004). Tales beneficios son ideales en sitios donde predominan monocultivos que afectan la biodiversidad y la resiliencia de las comunidades. Sin embargo, a pesar de los múltiples beneficios que los sistemas silvopastoriles

ofrecen, su adopción en Mesoamérica sigue siendo baja (Mercer 2004, Alonso *et al.* 2001).

Los productores agropecuarios piensan que manejar una alta cobertura de árboles es contraproducente porque la sombra afecta la productividad de los pastos al reducir la entrada de luz solar (Marie 2010). No obstante, en Costa Rica y Nicaragua se ha comprobado que los potreros tienen un rango de cobertura arbórea entre el 2 y 11,8% en promedio (Villacís 2003, Villanueva *et al.* 2004, Ruiz *et al.* 2005). Esquivel (2007) encontró que la productividad de las pasturas no se reduce en potreros con una cobertura arbórea menor a 20%. Por lo tanto, es conveniente identificar estrategias que permitan un mayor grado de adopción de sistemas silvopastoriles, de forma que

1 Basado en Salazar (2012).

2 Mag. Sc en Agroforestería Tropical, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: alvarogermansalazar@gmail.com

3 Programa Ganadería y Manejo del Medio Ambiente del CATIE. cvillanu@catie.ac.cr

4 Universidad Veracruzana, México. ccerdan@uv.mx

5 Universidad de Purdue, EE.UU. tamara17@purdue.edu

6 Norwegian Institute for Nature Research (NINA). david.barton@nina.no

los productores ganaderos puedan implementar estas mejoras tecnológicas con riesgos mínimos. Para que las innovaciones tecnológicas propuestas sean adoptadas por el productor, estas deben brindar beneficios cuantitativos o cualitativos, tener un nivel de riesgo aceptable, ser compatibles con los recursos del productor y emplear especies arbóreas bien aceptadas (Somarriba 2009, Rogers 2003).

Para el desarrollo de esta metodología se propone una herramienta tecnológica basada en las redes bayesianas (RB). Las RB son un conjunto de nodos acíclicos dirigidos mediante flechas que reflejan una relación causal. La relación expresada por las flechas entre un nodo y otro está representada mediante probabilidades condicionales (Horvitz *et al.* 1988). Las RB han sido utilizadas para modelar sistemas expertos en campos como la medicina para la sistematización del conocimiento médico y el diagnóstico de enfermedades (Lucas *et al.* 2000, Papaconstantinou *et al.* 1998). De forma creciente, se ha venido usando en el manejo ambiental y de recursos naturales (Barton *et al.* 2012). En el campo de la agroforestería se han hecho incursiones con trabajos como el Joshi *et al.* (2001) y Villanueva *et al.* (2003), los cuales identificaron, mediante redes bayesianas y con información de productores, los factores determinantes de la tala y el aprovechamiento forestal. En estos trabajos la RB permitió una evaluación deductiva de probabilidades de adopción de prácticas mejoradas según condiciones de la finca y del productor.

Nuestro propósito con este estudio es demostrar cómo la funcionalidad diagnóstica o inductiva de las RB puede ser usada para identificar la mejor combinación de árboles (con mayor potencial de adopción y con mejor calidad en provisión de servicios ecosistémicos), a partir de los servicios ecosistémicos deseados y las características del productor y su finca. El estudio se llevó a cabo en el departamento de Rivas, Nicaragua. La zona tiene una temperatura promedio anual (entre los años 1971-2000) de 26,1°C y 1519 mm de precipitación promedio anual (Ineter 2012); con altitudes que van de 100 a 200 msnm y dos tipos de suelos: vertisoles y molisoles (Sánchez *et al.* 2004).

Para construir el modelo experto se recolectó información primaria mediante entrevistas semiestructuradas a 55 productores. Mediante un ejercicio con maqueta que representaba el potrero actual y típico del productor, se fue modificando hasta identificar el potrero ideal, en la visión del productor. Las entrevistas semiestructuradas se hicieron con dos objetivos: identificar las características socioeconómicas de los productores para diferenciar los objetivos en la finca de acuerdo al tipo de productor,

o identificar las especies arbóreas con mayor potencial de adopción tecnológica. En la Figura 1 se ofrece un ejemplo de ejercicio con maqueta, que parte de la situación actual del potrero hasta llegar al estado ideal en términos de abundancia y composición.

Diseño de un modelo experto para el análisis de la información

Para diseñar el modelo experto se utilizó el programa Hugin Expert. La estructura básica del modelo experto se presenta en la Figura 2. Este modelo permite identificar el potrero ideal de un productor teniendo en cuenta los siguientes aspectos: 1) el tipo o tipos de servicio ecosistémicos que el productor desee potencializar en su finca; 2) el tipo o tipos de rasgos funcionales deseados por el productor o sugeridos por un especialista; 3) la cantidad de ingresos financieros que el productor desee obtener con la combinación de especies arbóreas (EA); 4) el tamaño de copa promedio de los árboles (grande, mediana, pequeña); 5) la densidad de árboles que el productor desee en su finca o en los potreros y 6) el tipo de especie leñosa deseada en el potrero ideal. La herramienta ofrece diversas cualidades para el diseño de potreros con árboles multifuncionales. Esto se debe a que la RB permite hacer análisis inductivos o deductivo/diagnóstico. Esto significa que se puede identificar la composición y abundancia de las EA mediante el uso de múltiples restricciones de forma simultánea.

Debido al gran número de nodos, la complejidad del modelo obligó a buscar funcionalidad y sencillez para su interpretación. Para esto se creó una red superficial con los nodos más importantes para un extensionista o asistente técnico, y se dejó de lado, en subredes, la información no necesaria para el análisis, como las operaciones aritméticas que permiten determinar la rentabilidad de las EA (Figura 3).

La red causal Figura 4 sistematiza información de características de un potrero ideal de un productor teniendo en cuenta los beneficios actuales vs futuros. Los nodos color verde oscuro y amarillo hacen referencia a información primaria de la presente investigación, los nodos color rojo a conocimiento especializado, los nodos color azul a información financiera, nodos color verde fosforescente a información de conocimiento local. En la sección de resultados se continuará explicando el funcionamiento de la RB. Los beneficios actuales corresponden a los ingresos que el productor percibe en el actual sistema ideal, mientras que futuros a los ingresos adicionales que el productor esperaría obtener con los cambios esperados.

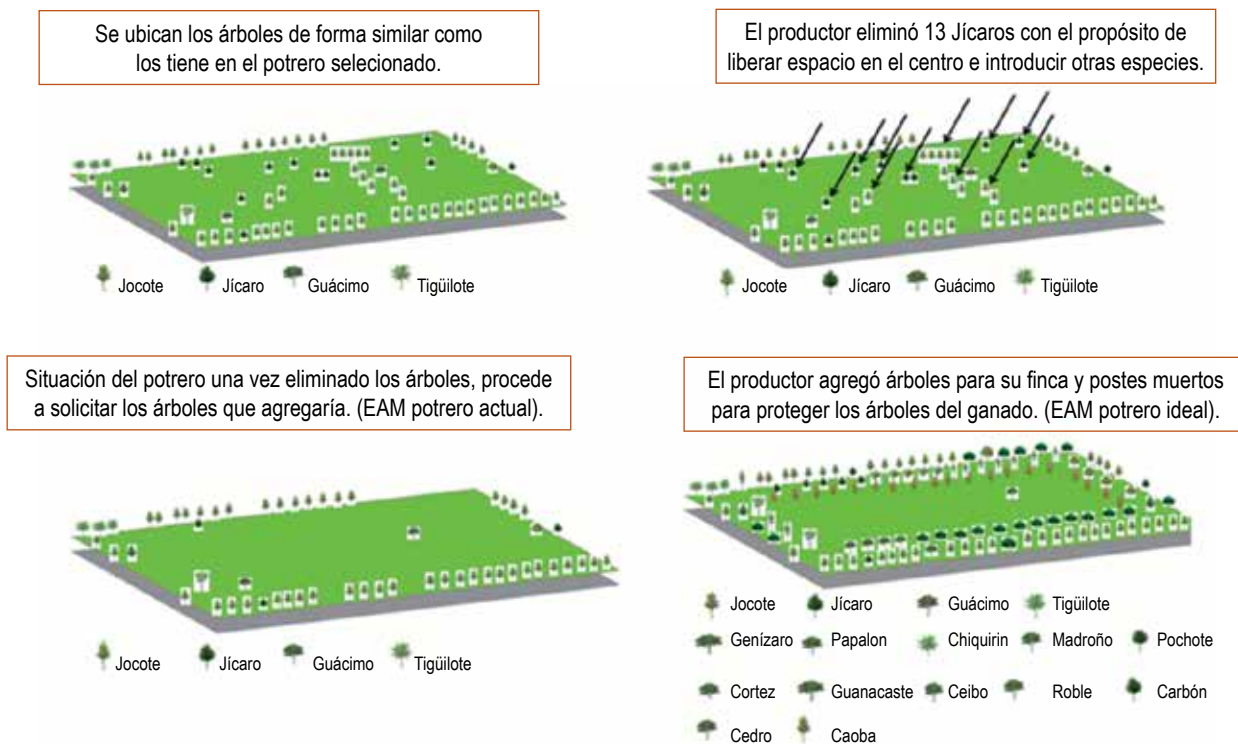


Figura 1. Ejemplo visual de un estudio de caso con maqueta (Salazar 2012).

Rasgos/atributos funcionales y servicios ecosistémicos

A partir de las bases de datos del proyecto FunciTree, se recopiló información sobre seis servicios ecosistémicos de interés (leña, sombra, nutrición animal, control de erosión y mejoramiento de suelos, resistencia a sequía, protección fuentes de agua) (Mosquera 2010). De las 27 especies arbóreas incluidas en la base de datos, se seleccionaron las más importantes para un potrero ideal, en opinión de los productores de Rivas, Nicaragua. La subred bayesiana que se configuró (Figura 5) se adjuntó al modelo principal. Esa subred está conformada por los siguientes nodos:

a) **Rasgos funcionales (conocimiento local):** este nodo incluye la información que resulta de la composición y abundancia del potrero ideal (nodo “especies arbóreas potrero ideal” de la (Figura 4). La información de frecuencias que alimenta este nodo proviene del número de veces que fue mencionado un rasgo/ atributo funcional asociado a una EA entre las seleccionadas. Cuando no se encontró información para algunas EA⁷, se registró información homogénea de tal forma que no afecte los estados condicionales en otros nodos.

7 No se encontró información de las especies siguientes: *Simarouba amara*, *Swietenia humilis*, *Cedrela odorata*, *Bursera simarouba*, *Cordia alliodora*, *Byrsonima crassifolia*, *Pachira quinata*.

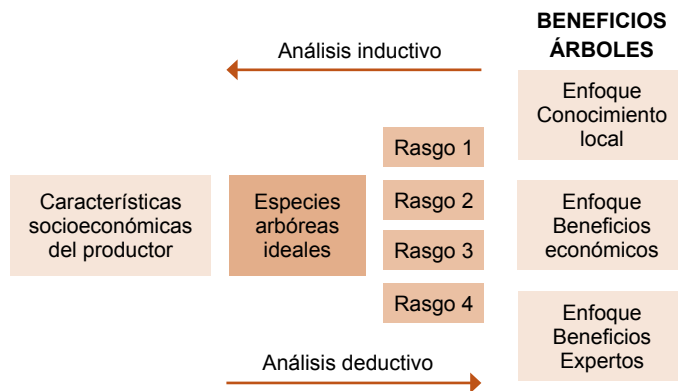


Figura 2. Diagrama estructural de una red causal ideal para análisis de la información

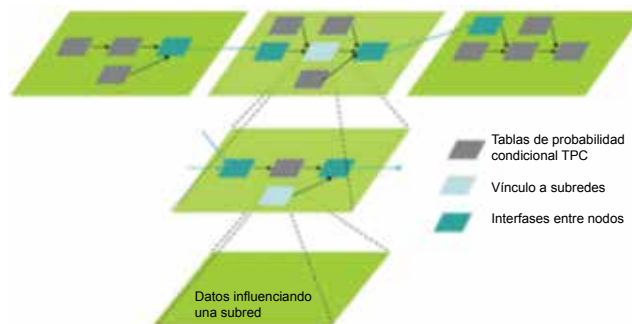


Figura 3. Redes bayesianas orientadas a objetos

Traducido de Barton *et al.* (2008).

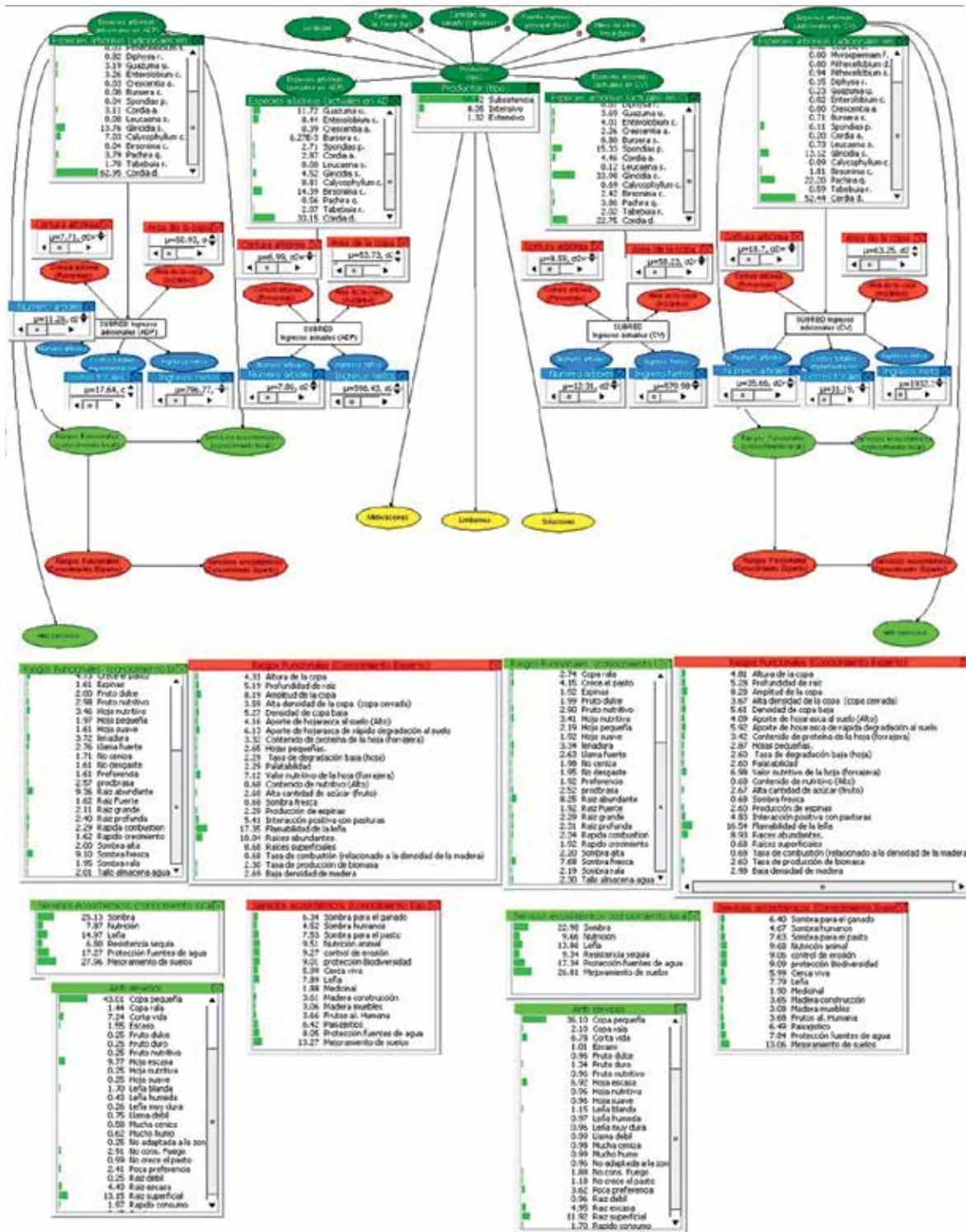


Figura 4. Red bayesiana modelo experto de conocimiento local y científico que define beneficios entre potrero actual vs. potrero ideal. Para el diseño de esta red bayesiana se usó la siguiente información: características del productor y de la finca asociadas a tipologías de productores; configuración en composición y abundancia de EA en potrero actual y en cercas vivas y árboles dispersos en potreros; ingresos unitarios y costos unitarios asociados a las densidades de cada especie e ingresos netos actuales y adicionales que el productor esperaría obtener; subred de conocimiento local y experto para determinar la diferenciación en cuanto a beneficios cualitativos.

- b) **Rasgos o atributos funcionales desde la perspectiva de los expertos:** para este nodo se registró la existencia o no existencia, mediante variables dicotómicas (1 o 0), de la relación entre conceptos de rasgos/ atributos funcionales, conocimiento local y rasgos funcionales terminología de experto. Este enlace busca homogeneizar el lenguaje científico con el del conocimiento local. Prácticamente los resultados de este nodo son los mismos del nodo rasgos funcionales (conocimiento local), pero con terminología de expertos en ecología funcional. Cuando no se encontró una asociación clara se puso el número 1 para no afectar la condicionalidad.
- c) **Servicios ecosistémicos (conocimiento local):** este nodo registra información de la base de datos de Mosquera (2010); se tomó en cuenta el número de veces que los productores mencionaron un rasgo/ atributo funcional de una EA como proveedora de un servicio ecosistémico.
- d) **Servicios ecosistémicos (conocimiento experto):** se entrevistó a ocho especialistas en ecología para identificar la relación (positiva) entre rasgos/atributos funcionales y servicios ecosistémicos. Es decir, las características que tiene una EA que la capacitan para la prestación de un servicio ecosistémico. El objetivo es realizar una alineación entre EA en potrero ideal, rasgos/atributos funcionales, conocimiento local y conocimiento experto sobre servicios ecosistémicos. Se incluyó también información relacionada con “antiservicios” de las especies arbóreas según la información de Mosquera (2010) (Figura 6). Esta subred se adjuntó al modelo experto principal.

Subred de limitaciones, motivaciones y soluciones

De la encuesta a productores se obtuvo información sobre las limitaciones, motivaciones y soluciones que encuentra el productor para adoptar el sistema en conjunto, no sólo a nivel de potrero sino a nivel de finca. La Figura 7 se adjuntó a la red principal modelo experto.

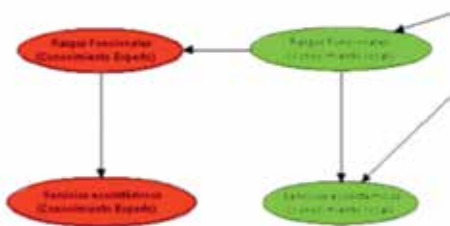


Figura 5. Subred bayesiana de conocimiento local y experto

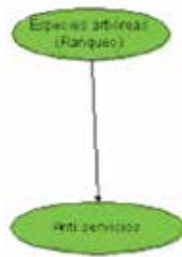


Figura 6. Subred de antiservicios de las especies arbóreas



Figura 7. Subred de limitantes, motivaciones y soluciones de la adopción

Subred de ingresos y costos financieros (potrero actual vs. ideal)

A partir de las cuatro subredes incluidas en el modelo integral experto, se diseñó una subred de costos e ingresos (Figura 8). Para la adición de nuevos árboles se agregó un nodo adicional que cuantifica los costos totales de implementación del sistema en cercas vivas y árboles dispersos en potrero.

A continuación una explicación breve de los nodos:

- a) **Ingresos brutos (US\$/árbol):** contiene información de ingresos brutos unitarios mínimos y máximos, a términos constantes del 2011 para las especies arbóreas de las cuales se obtuvo información financiera.
- b) **Costos de manejo (US\$/árbol):** contiene información sobre mínimos y máximos de costos de manejo a precios constantes del 2011 para las especies arbóreas de las cuáles se obtuvo información financiera.
- c) **Ingresos netos de manejo (US\$/árbol):** determina mediante cálculos probabilísticos los ingresos netos unitarios por árbol durante el periodo de proyección. El nodo realiza la operación de resta entre la información del nodo ingresos brutos y costos de manejo.
- d) **Área promedio de la copa (m²):** contiene información de bases de datos del proyecto Silpas sobre diámetros de copa por especie arbórea, a partir de 1821 árboles de 21 especies arbóreas.
- e) **Especies arbóreas adicionales de árboles dispersos en potreros:** determina el número de árboles que deben incluirse en el potrero, según un porcentaje de cobertura ideal. Este nodo contiene la siguiente ecuación: $\text{Árboles/ha} = (\% \text{ cobertura ideal} * 10.000 \text{ m}^2) / (\text{Área copa (m}^2))$. La fórmula es la misma para las otras tres subredes del modelo; únicamente cambian los valores de la fuente.
- f) **Cobertura arbórea (%):** determina el nivel de cobertura del potrero ideal programado. Dentro del nodo se usó la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de cobertura: $\text{nodo especies arbóreas} * \text{Área}$

de la copa ($m^2/\text{árbol}$)/10000*100. Esta fórmula se aplicó a las cuatro subredes.

- g) **Ingresos netos totales de manejo** (US\$/árbol año): contiene información sobre ingresos totales de las especies arbóreas en potrero a términos constantes del 2011 para las especies arbóreas de las cuales se obtuvo información financiera. El nodo realiza la operación restando la información contenida del nodo ingresos netos de manejo y los multiplica con la información del nodo (árboles #/ha) para las especies arbóreas de las que se tiene información. Las operaciones que se realicen en este nodo estarán condicionadas a la información origen de distribución de especies arbóreas, cobertura ideal de copas, área de la copa y otros nodos que puedan ser manipulados por el usuario en la red integrada; tal es el caso de los servicios ecosistémicos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Funcionamiento de la red bayesiana

Para explicar el funcionamiento de la red bayesiana (modelo experto), en la Figura 4 se detalla un estudio de caso para un productor tipo extensivo. La dinámica de la red consistió en definir características de un potrero ideal para un productor pequeño tipo subsistencia. En el potrero ideal se define el porcentaje de cobertura arbórea probable para 1 hectárea a partir del promedio de copa estimado de la composición de árboles seleccionada por el productor, el número de árboles, los ingresos netos a obtener con los árboles a los 25 años y los costos totales de implementación del sistema, cuando se trata de adicionar árboles al potrero.

La RB también proporciona información sobre los rasgos/atributos funcionales más probables para la composición de árboles adicionales como árboles dispersos en potreros (ADP) o en cercas vivas (CV). También se evalúan los servicios ecosistémicos que estos proporcionan desde la perspectiva del conocimiento local y desde la perspectiva de especialistas en ecología. Además, para el tipo de productor específico, se determinan las motivaciones que les impulsan a establecer el potrero visualizado en conjunto, así como las limitaciones y posibles soluciones.

En el caso que se ilustra, el productor seleccionó un potrero con un 48% de cobertura arbórea total. Su decisión fue incrementar la cobertura arbórea en CV, principalmente; así pasó de 12 árboles a 35 árboles. Los ingresos potenciales con los árboles en potrero, que en un inicio serían de US\$1175, subieron a US\$2728 con los árboles adicionales en el potrero ideal.

Los productores consideran que los árboles adicionales les aportan múltiples beneficios, tales como sombra para los animales, mejoramiento de los suelos, provisión de leña, protección de fuentes de agua y, en menor proporción, nutrición animal y resistencia a la sequía. Los especialistas, por su parte, afirman que este sistema proporciona las mejores características para el mejoramiento de los suelos.

El desarrollo de metodologías de este tipo debe ofrecer beneficios reales a la sociedad (Varis y Kuikka 1997). El

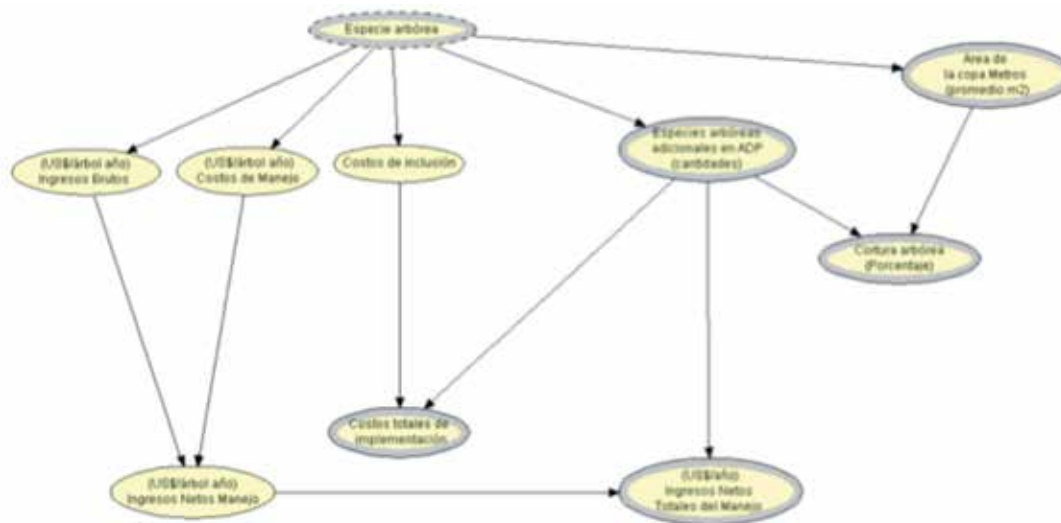


Figura 8. Ejemplo de una red causal de costos e ingresos financieros de los árboles en potrero actual e ideal.

modelo experto propuesto puede ser útil como herramienta para recomendar combinaciones de árboles ‘en tiempo real’, en una situación de discusión entre productor, extensionista o asistente técnico. También es posible hacer recomendaciones sobre reforestación en sistemas silvopastoriles que busquen optimizar el uso de los recursos y la adopción de tecnologías en amplias zonas en el área de estudio.

Potreros ideales por tipo de productor y servicios ecosistémicos deseados

En el Cuadro 1 se presentan las características de los potreros ideales por tipo de productor y servicio ecosistémico. Se encontró que los productores prefieren incrementar la cobertura arbórea en CV antes que en ADP; asimismo, prefieren incorporar árboles de fácil prendimiento que reporten beneficios económicos, y eliminar aquellos de poca utilidad o que afecten la productividad de las pasturas debido al exceso de sombra. Estas preferencias concuerdan con estudios como el de Irshad *et al.* (2011) y Salam *et al.* (2000), quienes afirman que las motivaciones que inciden en la adopción de especies arbóreas tienen que ver con factores culturales y socioeconómicos; es decir que los productores prefieren plantar árboles que reporten beneficios ecológicos que ellos perciben directamente, como la fertilidad de los suelos (Cerdán *et al.* 2012). Entre los beneficios más buscados están asegurar alimento para los animales en verano, diversificar los bienes y productos de la finca (estacas, madera, leña), mejorar la belleza escénica del entorno.

Por lo general, los productores han ido trabajando hacia el potrero ideal a lo largo de los años; sin embargo, existen una serie de dificultades que les impiden desarrollarlo en toda su finca; entre ellas, falta de mano de obra, capital y tiempo. Los productores suelen tener un presupuesto limitado por lo que necesitan una cierta certidumbre de que la tecnología ofrecida les reportará los beneficios esperados (Alonso *et al.* 2001). Para el productor, las prioridades están en las actividades de rendimiento a corto plazo. Comparado con la inversión agrícola, los retornos que pueden proporcionar los árboles demoran más tiempo; por ejemplo, para obtener algún tipo de beneficio con *Gliricidia sepium*, los productores deben esperar como mínimo dos años (Thangata y Alavalapati 2003, Alonso *et al.* 2001). Generalmente los pequeños productores tienden a hacer un uso muy racional de sus recursos escasos, por lo que prefieren ir a lo seguro y lo tradicional antes que probar tecnologías nuevas y complicadas con beneficios inciertos.

La cobertura arbórea en potrero actual ronda el 15% y cuando se llega al potrero ideal es de aproximadamente el 42%. En promedio, un productor tiene en CV 12 árboles y adiciona 36 árboles en el potrero ideal. En ADP hay, en promedio, siete árboles y se agregan 18 árboles más en el potrero ideal. Estos datos son similares a los encontrados por Sánchez *et al.* (2004) en la misma zona: en promedio, las fincas tienen 0,7 km de cerca viva y 16,2 árboles por hectárea de potrero. Según Esquivel (2007), a partir de un nivel de cobertura del 30%, la productividad de las pasturas empieza a declinar. El modelo experto busca, entonces, identificar opciones silvopastoriles que no superen el nivel de cobertura arbórea a partir del cual se empieza a reducir la productividad del sistema productivo.

En CV potrero actual, las EA más comunes son *Cordia dentata*, *Gliricida sepium* y *Spondias purpurea*. En el proceso de mejoramiento, los productores agregan *Pachira quinata* en gran proporción. En ADP, las EA más comunes en potrero actual son *Guazuma ulmifolia* y *Cordia alliodora* y para el potrero ideal se consideran *G. sepium*, *P. quinata*, *C. dentata*.

En promedio, con el potrero actual en un ciclo de 25 años, un productor obtiene ingresos por venta de productos derivados de los árboles por un monto de US\$1347; con el potrero ideal se tendrían ingresos adicionales en promedio de US\$2249, con una inversión de US\$28 dólares para establecer dicho sistema.

El estado más probable de nivel de cobertura para los potreros ideales de los productores se encuentra en un rango del 40% y 45% y en el potrero actual entre 13 y 16%. Un productor promedio de Rivas podría aumentar su cobertura arbórea en un 10% sin tener mayores efectos negativos en la productividad de la pastura y obtener ingresos por US\$1270 por hectárea por los árboles adicionales. Los productores tipo subsistencia reportaron los mayores ingresos por la adición de árboles en potrero ideal (US\$2810) y los productores tipo intensivo los que menos ingresos reportaron (US\$1924) (Cuadro 1).

Implicaciones del tamaño de la copa del árbol en la adopción

El tamaño de la copa es un factor de importancia al momento de considerar un mayor o menor número de árboles en el potrero. Por ejemplo, especies como *Enterolobium cyclocarpum* y *Albizia saman*, que si bien son buenas proveedoras de fruta para los animales, no

son aceptadas por los productores debido a su amplia copa. Los productores no aceptan a las especies de copa grande porque afectan la productividad de las pasturas. Ningún productor escogió potreros ideales con este tipo de árboles en las pasturas, aunque si se combinan con otros árboles de copa menos amplias funcionan bien para la prestación de sombra a los animales. A pesar de sus reservas en relación con las especies, casi ningún productor aceptó eliminar los árboles de *E. cyclocarpum* y *A. saman* en su potrero actual.

Las especies mejor aceptadas para el potrero ideal fueron las de copa estrecha, como *C. dentata*, *G. sepium*, *P. quinata*. No obstante, especies con un tamaño de copa superior al promedio representan el 20% de la cantidad

de árboles en potrero ideal; entre ellas, *Cassia grandis* (255 m²), *A. saman* (175 m²), *E. cyclocarpum* (130 m²), *P. quinata* (122 m²), *Leucaena* sp (102 m²), *G. ulmifolia* (75 m²).

A pesar de su copa relativamente amplia, *P. quinata* es la tercera EA más importante en potreros de la zona. Los productores consideran que esta especie, además de ser de fácil prendimiento, se desarrolla de forma rápida y tiene una alta demanda comercial en la zona. La especie se usa como postes maestros que se ubican cada 25 metros lineales en la cerca viva para templar el alambre y dar soporte a la cerca. Los productores manifestaron interés por proteger la especie pues ha ido desapareciendo de los potreros debido a lo valioso de su madera; además es un árbol de gran belleza escénica.

Cuadro 1. Características de potreros ideales por tipo de productor y tipo de servicio ecosistémico

	Características potrero ideal por tipo de productor			Características potrero ideal por tipo de productor y tipo de servicio ecosistémico							
	Beneficios de las especies arbóreas en potrero ideal	Potrero actual	Potrero adicional	Potrero ideal	Sombra	Nutrición	Leña	Resistencia a sequía	Protección fuentes de agua	Mejoramiento de suelos	
Productor extensivo	Árboles (Cerca viva)										
	Número de árboles	13	37	50	45	51	53	44	45	54	
	Cobertura arbórea	8	20	28	26	29	29	26	26	30	
	Costos de implementación US\$		32	32	29	33	34	28	28	35	
	Ingresos netos US\$	935	1.171	2.106	2.497	2.065	1.866	2.345	2.457	2.067	
Productor intensivo	Árboles (árboles dispersos en el potrero)										
	Número de árboles	7	11	19	18	18	21	20	18	18	
	Cobertura arbórea	7	8	15	15	15	15	16	15	15	
	Costos de implementación US\$		18	18	17	17	20	20	17	17	
	Ingresos netos US\$	627	844	1.471	1.440	1.436	1.494	1.484	1.508	1.479	
Productor intensivo	Árboles adicionales potrero ideal (Cerca viva)										
	Número de árboles	10	35	45	42	42	51	40	41	48	
	Cobertura arbórea	7	19	26	24	26	30	25	24	27	
	Costos de implementación		31	31	28	29	35	27	27	33	
	Ingresos netos	661	1.334	1.995	2.326	1.874	1.621	1.957	2.293	2.041	
Productor intensivo	Árboles adicionales potrero ideal (árboles dispersos)										
	Número de árboles	7	9	16	15	16	17	15	15	16	
	Cobertura arbórea	7	9	16	16	16	16	16	16	16	
	Costos de implementación		16	16	15	16	16	15	15	16	
	Ingresos netos	663	590	1.253	1.438	1.289	1.092	1.449	1.445	1.167	
Productor subsistencia	Árboles adicionales potrero ideal (Cerca viva)										
	Número de árboles	12	36	48	48	47	51	45	47	49	
	Cobertura arbórea	9	19	27	27	29	31	28	27	27	
	Costos de implementación		31	31	31	30	33	29	31	32	
	Ingresos netos	567	1.996	2.563	2.749	2.437	2.078	2.408	2.721	2.620	
Productor subsistencia	Árboles adicionales potrero ideal (árboles dispersos)										
	Número de árboles	8	11	19	19	19	21	21	19	19	
	Cobertura arbórea	7	8	15	14	15	15	15	14	14	
	Costos de implementación		18	18	17	18	20	19	17	17	
	Ingresos netos	590	814	1.404	1.428	1.352	1.335	1.479	1.442	1.387	

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo experto basado en redes bayesianas permite determinar los beneficios actuales de un sistema silvopastoril (árboles dispersos en potrero, cercas vivas y linderos), diseñar alternativas óptimas para los productores y generar bienes y servicios ecosistémicos prioritarios.

Los potreros que aprovechan especies arbóreas multifuncionales en servicios como sombra para animales

y protección a fuentes de agua reportaron mejores ingresos para los tres tipos de productores considerados. Para mejorar los beneficios y obtener altos niveles de adopción se sugiere promover la tecnología a partir de portafolios multifuncionales de árboles con cualidades específicas para sombra y protección de fuentes de agua, teniendo en cuenta las condiciones y necesidades de la zona de estudio. Se sugiere profundizar en métodos y estudios que valoricen los beneficios directos e indirectos de los árboles.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M; 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.
- Barton, D; Kuikka, O; Varis, L; Uusitalo, H; Henriksen, M; Borsuk, A; de la Hera, R; Farmani, S; Johnson, J; Linnell, D. 2012. Bayesian networks in environmental and resource management. *Integr Environ Assess Manag.* 8(3): 418-29.
- Barton, D; Saloranta, T; Moe, S; Eggstad, H; Kuikka, S. 2008. Bayesian belief networks as a meta-modelling tool in integrated river basin management -- Pros and cons in evaluating nutrient abatement decisions under uncertainty in a Norwegian river basin. *Ecological Economics* 66(1):91-104.
- Cerdán, CR; Rebolledo, MC; Soto, G; Rapidel, B; Sinclair, F. 2012. Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. *Agricultural Systems* (110):119-130.
- Esquivel, H; Ibrahim, M; Harvey, C; Benjamin, T; Sinclair, F. 2007. Impacts of dispersed trees in pastures on fodder quantity and quality to cattle in seasonally dry ecosystems. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 100 p.
- Horvitz, E; Breese; Henrion, M. 1988. Decision theory in expert systems and artificial intelligence. *Journal of Approximate Reasoning (Special Issue on Uncertain Reasoning)* 2:247-302
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2012. Meteorología, normas históricas. Managua. <http://www.ineter.gob.ni/>
- Irshad, M; Khan, A; Inoue, M; Ashraf, M; Sher, H. 2011. Identifying factors affecting agroforestry system in Swat, Pakistan. *African Journal of Agricultural Research* 6(11): 2588-2591.
- Joshi, L; Wibawa, G; Sinclair, F. 2001. Local ecological knowledge and socio-economic factors influencing farmers' management decisions in jungle rubber agroforestry systems in Jambi, Indonesia. Bangor, UK, University of Wales, School of Agricultural and Forest Sciences. 33p.
- Lucas, P; Bruijn, N; Schurink, K; Hoepelman, A. 2000. A probabilistic and decision-theoretic approach to the management of infectious disease at the ICU. *Artificial Intelligence* 19(251): 279.
- Marie, C. 2010. Of trees and pastures – management of woody resources and the social dynamics in La Chocolata, Rivas, Nicaragua. Montpellier, France, CIRAD. 328 p.
- Mercer, DE. 2004. Adoption of agroforestry innovations in the Tropics: A review. *Agroforestry Systems* (61):311-328.
- Mosquera Andrade, D. 2010. Conocimiento local sobre bienes y servicios de especies arbóreas y arbustivas en sistemas de producción ganadera de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 115 p.
- Papaconstantinou, C; Theocharous, G; Mahadevan, S. 1998. An expert system for assigning patients into clinical trials based on Bayesian networks. *J. Medical System* 3: 189:202.
- Rogers, EM. 2003. Diffusion of innovation. 5 ed. New York, Free Press. p. 219-266.
- Ruiz, F; Gómez, R; Harvey, C. 2005. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de Matiguás, Nicaragua. Managua, Nicaragua, Tropitécnica – Nitlapan. 40 p.
- Sánchez, F; López, M; Medina, A; Gómez, R; Harvey, C; Vílchez, S; Hernández, B; López, F; Joya, M; Sinclair, F; Kunth, S. 2004. Importancia ecológica y socioeconómica de la cobertura arbórea en un paisaje fragmentado de bosque seco de Belén, Rivas, Nicaragua. *Revista Encuentro(NI)* no. 68: 14 p. Managua, Nicaragua, Universidad Centroamericana.
- Salam, M; Noguchi, T; Koike, M. 2000. Understanding why farmers plant trees in the homestead agroforestry in Bangladesh. *Agroforestry Systems* (50): 77-93.
- Salazar, A. 2012. Modelo experto para el análisis de la adopción de árboles en pasturas del trópico seco de Nicaragua. Tesis Mg.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 101 p.
- Somarriba, E. 2009. Planificación agroforestal de fincas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Materiales de enseñanza N° 49. 100 p.
- Thangata, P; Alavalapati, J. 2003. Agroforestry adoption in Southern Malawi: the case of mixed intercropping of *Gliricidia sepium* and maize. *Agroforestry Systems* (78): 57-71.
- Varis, O; Kuikka, S. 1997. Joint use of multiple environmental assessment models by a Bayesian meta-model: the Baltic salmon case. *Ecol. Model* (102):341–351.
- Villacís, J. 2003. Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Río Frío, Costa Rica. Tesis Mg.Sc. 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 silvo-pastoral systems for providing ecosystems services and rural livelihoods. Mérida, MX. p. 183-188.
- Villanueva, C; Muhammad, I; Harvey, C; Fergus, L; Sinclair; Muñoz, D. 2003. Decisiones claves que influyen sobre la cobertura arbórea en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 69-77.

Percepción y adaptación al cambio climático en sistemas ganaderos de Río Blanco y Paiwas, Nicaragua¹

Carlos Chuncho², Claudia Sepúlveda³, Muhammad Ibrahim⁴,
Adriana Chacón³, Tamara Benjamin⁵, Diego Tobar³

RESUMEN

En Nicaragua, la sequía afecta el 30% del territorio y causa problemas de disminución del forraje para las explotaciones ganaderas de pequeños productores en sistemas de doble propósito; esto hace que se reduzca el tamaño del hato y la producción de leche por vaca. En este estudio se caracterizaron las fincas ganaderas de producción lechera en Río Blanco y Paiwas, Nicaragua, con el fin de analizar la percepción de los ganaderos sobre el cambio climático, así como los efectos y estrategias de adaptación. Se analizó el potencial productivo de los sistemas silvopastoriles como alternativa de producción en la época seca y la rentabilidad financiera de los sistemas de producción. Los resultados indican que existen dos sistemas de producción: convencionales (SC) y silvopastoriles (SSP). La producción de leche entre ambos sistemas difiere estadísticamente ($p < 0,05$) debido al tipo de alimentación que recibe el ganado bajo SSP, principalmente leguminosas arbustivas, y el área mayor destinada a pasturas mejoradas con árboles dispersos en potreros. Los resultados del análisis financiero indican que las fincas que cuentan con SSP son financieramente más rentables que las fincas con SC.

Palabras claves: Sistemas silvopastoriles, potencial productivo, análisis financiero.

ABSTRACT

Perception and adaptation to climate change in cattle farms from Río Blanco and Paiwas, Nicaragua

In Nicaragua, drought affects 30% of its total area and menaces the forage supply for dual purpose cattle in smallholder farms; in consequence, both herd size and milk production per cow are diminishing. Dairy cattle farms in Río Blanco and Paiwas, Nicaragua were assessed, and cattle growers perceptions in relation to climate change were determined, as well as its effects and coping strategies. Product potential of agroforestry systems during the dry season, and the financial profitability of production systems were determined. Two production systems are in use in the area: conventional and silvopastoral systems. Milk production differed statistically ($p < 0,05$) between both systems due to the type of feed cattle received under silvopastoral systems (leguminous shrub, mainly) and the high percentage of area devoted to improved pasture with scattered trees. The financial analysis showed that farms under silvopastoral systems are more profitable than those under conventional systems.

Keywords: Silvopastoral systems, product potential, financial analysis.

INTRODUCCIÓN

Por sus características geográficas y topográficas, la región de América Latina y el Caribe es vulnerable al cambio climático. La incidencia de problemas meteorológicos aumentó 2,4 veces en el quinquenio 2000-2005, en comparación con 1970-1999, lo cual ha provocado inundaciones, sequías y deslizamientos. Ante situaciones de desastre, el estudio de la percepción que incorpora valores sociales y culturales desempeña un

papel clave en las políticas y en sistemas de gestión ambiental (Adger 2003). Los análisis de percepción son de considerable valor para los planificadores y decisores locales, pues ayudan a evaluar las expectativas, el comportamiento y la capacidad de adaptación de las comunidades, para así desarrollar estrategias de adaptación adecuadas y socialmente aceptables (Button 2010, Leiserowitz 2005).

1 Basado en Chuncho (2011).

2 M.Sc. Agricultura Orgánica. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, Ecuador. Telf: +59372546093/ 95769377, Fax: 2547058. carguille2@gmail.com/cchuncho@catie.ac.cr

3 Profesores Investigadores, CATIE. Turrialba. csepul@catie.ac.cr (autora para correspondencia), mibrahim@catie.ac.cr, achacon@catie.ac.cr, tamara@catie.ac.cr, dtobar@catie.ac.cr

4 Representante Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Belice. muhammad.ibrahim@iica.int

5 Purdue University. tamara17@purdue.edu

Las percepciones ambientales son entendidas como la forma en que cada individuo aprecia y valora su entorno; en buena medida, tales percepciones influyen en la toma de decisiones (Barber *et al.* 2003). Así por ejemplo, los ganaderos han podido identificar e implementar buenas prácticas y/o tecnologías que contribuyen al aumento de la producción, conservación de recursos naturales y adaptación al cambio climático. Entre las tecnologías adoptadas está la implementación de sistemas silvopastoriles que proveen beneficios al productor; entre ellos, los recursos alimenticios, principalmente en época seca, y la mitigación del estrés calórico del ganado en zonas con altas temperaturas.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar las tecnologías productivas que los productores ganaderos de Paiwas y Río Blanco, departamento de Matagalpa, Nicaragua implementan como medidas de adaptación a los efectos del cambio climático, y para incrementar la producción de leche.

En el área de estudio existen dos zonas climáticas predominantes: una tropical seca y otra tropical húmeda. La precipitación promedio en la zona es de 2400-2600 mm, con una marcada estación entre los meses de diciembre y mayo. La temperatura promedio anual oscila entre 16 y 25°C; la altitud promedio es de 275 msnm. Las principales actividades económicas que generan fuentes de trabajo en los municipios son la ganadería y la agricultura, con cultivos de frijol, maíz y cacao.

Tipologías de fincas, percepción, efectos y estrategias de adaptación al cambio climático

Se caracterizaron las fincas para conocer los tipos de sistemas ganaderos existentes; para ello se seleccionaron 288 productores que venden la leche directamente a Prolacsa, una empresa subsidiaria de Nestlé. De los productores seleccionados, mediante un muestreo aleatorio simple (Casas *et al.* 2003), se eligieron 69 a quienes se aplicó una entrevista semiestructurada para recopilar información biofísica y socioeconómica acerca de las fincas ganaderas, así como sus percepciones y conocimiento de los efectos provocados por el cambio climático. También se trató de recabar información sobre las medidas de adaptación que aplican los ganaderos ante los cambios del clima.

Se aplicó un análisis de conglomerados a la información biofísica y socioeconómica; se empleó la medida de distancia *Gower* y el método Ward como técnica de agrupación. Como variables de clasificación se conside-

raron la producción de leche, el área total destinada a la ganadería, las tecnologías silvopastoriles aplicadas en la finca y el sistema alimentario. Con la información sobre percepción, conocimiento y efectos sobre el cambio climático y las medidas de adaptación se desarrollaron técnicas multivariadas: tablas de contingencia ($\alpha=0,05$), análisis de correspondencias múltiples (ACM) y análisis de componentes principales (ACP). Con el ACM, se determinaron las estrategias más relacionadas con los dos sistemas de producción estudiados; con el ACP se determinó qué tecnologías se relacionan con el incremento en la producción de leche.

Potencial productivo de los sistemas silvopastoriles

Mediante un muestreo aleatorio simple se eligieron siete fincas (Casas *et al.* 2003) en las que se hicieron análisis de las siguientes variables: materia seca (kg MS/ha) de pasturas naturales, mejoradas y de corte, medida en la época seca y lluviosa; producción de leche (kg/vaca/día) por sistema de producción y en época seca y lluviosa. En la leche, se midieron los sólidos totales (g/100 cm³) mediante el método gravimétrico y la grasa (%) con el método Gerber. En el componente arbóreo se midió el contenido de carbono (ton C/ha) y la cobertura arbórea (%); para ello, en las fincas seleccionadas con potreros <1 ha se realizó un censo total de las especies arbóreas; en potreros de 1-5 ha se estableció una parcela de 1 ha; en potreros de 5-10 ha se establecieron dos parcelas de 1 ha y en fincas con potreros >10 ha se establecieron tres parcelas de 1 ha. En cada potrero bajo pasturas mejoradas y naturales se contabilizó el número de especies arbóreas; además, a cada árbol se midió el dap (>5,0 cm), la altura del fuste y del árbol y el diámetro de copa (mayor y menor) para obtener el porcentaje de cobertura arbórea.

Para determinar la biodiversidad existente se usaron los índices de biodiversidad (IBSA) que se detallan en el Cuadro 1. El IBSA se emplea para el pago por servicios ambientales según uso del suelo (Sáenz y Villatoro 2006). Con la información obtenida se hizo un análisis multivariado exploratorio para visualizar la relación entre los sistemas de producción estudiados. Mediante el *software* estadístico InfoStat y Statgraphics (Di Rienzo *et al.* 2010) se hizo un análisis de regresión lineal para determinar la relación entre variables de producción de biomasa forrajera y cobertura arbórea.

Análisis financiero

Mediante un muestreo aleatorio simple se escogieron siete fincas de cada sistema de producción. En las fincas

Cuadro 1. Índice de biodiversidad por uso del suelo en las fincas seleccionadas de Río Blanco y Paiwas, Nicaragua

Usos del suelo	Simbología	Índice de conservación IBSA
Bosque primario	BP	0,97
Bosque secundario	BS	0,93
Tacotal	SV	0,62
Bosque ribereño	BR	1,03
Pastura natural con árboles dispersos (baja densidad)	PNADbd	0,47
Pastura natural con árboles dispersos (alta densidad)	PNADad	0,77
Pastura mejorada con árboles dispersos (baja densidad)	PMADbd	0,36
Pastura mejorada con árboles dispersos (alta densidad)	PMADad	0,62
Bancos forrajeros	BF	0,73
Cultivos anuales	CA	0,01
Infraestructura	IN	0,00

seleccionadas se aplicó una entrevista semiestructurada para obtener información general de la familia y de la finca: aspectos socioeconómicos, composición del hato, registros de la actividad productiva, existencia de instalaciones, maquinaria y equipos, producción de la finca (ingresos), costos de producción y establecimiento, mantenimiento del hato, pasturas, bancos forrajeros y uso de combustible. La información se recopiló entre el año 2007 y el 2010. Para el análisis financiero se consideraron el valor actual neto y el beneficio/costo. El flujo de caja se expresó en dólares americanos; se usó un tipo de cambio promedio por año: año 2007, 18,44 córdobas/US\$1; año 2008, 19,37 córdobas/US\$1; año 2009, 20,24 córdobas/US\$1; año 2010, 21,05 córdobas/US\$1. La tasa de descuento utilizada fue de 10,16 % (BCN 2010).

Los parámetros de producción se basaron en la producción anual de los ganaderos. El precio de la leche se definió a partir del precio pagado por Prolacsa: año 2007, \$0,339/litro; año 2008, \$0,323/litro; año 2009, \$0,309/litro; 2010: \$0,297/litro. Los costos obtenidos mediante las encuestas fueron nominales y se transformaron a costos reales para realizar el flujo de caja; para ello se usó un deflactor (2010 año base). Con los costos nominales transformados a reales se elaboró una estructura de costos e ingresos que tomó en cuenta los gastos en efectivo (insumos, mano de obra familiar (si era pagada), permanente y ocasional). Los ingresos efectivos y no efectivos (autoconsumo) se calcularon sobre la base

de la producción y precios de venta reportados. Con la información obtenida se efectuó un análisis de estadística descriptiva, con el fin de establecer las medias por grupo de clasificación y sistema tecnológico evaluado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipologías de fincas

El análisis de conglomerados evidenció la existencia de dos sistemas de producción: sistemas silvopastoriles (SSP) y sistema convencional (SC) ($p < 0,05$) (Figura 1). El área promedio destinada a la ganadería fue de 54,9 en el SC y 64,5 ha en el SSP, mientras que el área total promedio de finca para el grupo SC fue de 67,82 ha y 75,06 ha para el grupo SSP. Estos valores de área no presentaron diferencias significativas entre el tamaño de fincas ($p = 0,5950$) ni el área dedicada a la ganadería ($p = 0,4198$).

En cuanto al sistema alimentario, el grupo de ganaderos que incorpora el mayor número de recursos endógenos es el SSP (*Gliricidia sepium*, *Cratylia argentea*, *Saccharum officinarum*, *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides* y *P. purpureum*). Las fincas con SC utilizan mayor cantidad de recursos exógenos, como la sal comercial (95,8%), y recursos endógenos como la caña de azúcar (83,3%). La producción de leche en estas fincas es más baja que en las fincas con SSP (Cuadro 2) y

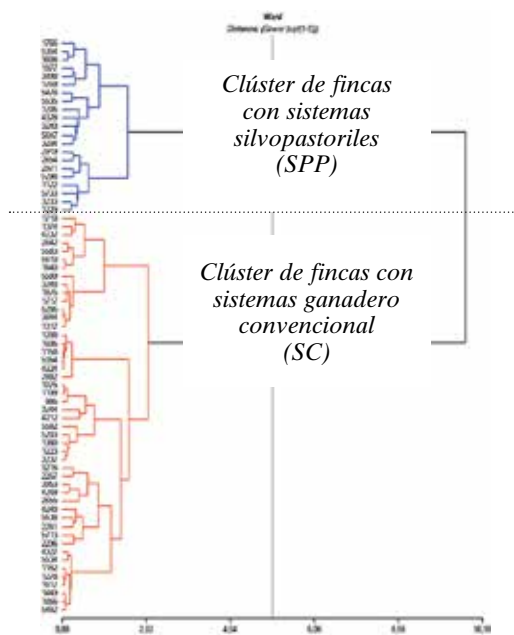


Figura 1. Tipología de fincas ganaderas de Río Blanco y Paiwas, Nicaragua

la forma de explotación es de pastoreo extensivo (95%). De hecho, este es el sistema productivo más difundido en países tropicales y subtropicales (Mijail *et al.* 2003).

Las fincas con SSP (Figura 2) mostraron una relación positiva con la producción de leche, tanto en época lluviosa como seca, debido a las pasturas mejoradas con árboles dispersos y el asocio de gramíneas y leguminosas (Sáenz y Villatoro 2006, Milera *et al.* 2001, Ruiz y Febles 1998). Las gramíneas arbustivas se usan en bancos forrajeros para la alimentación del ganado; dos de las especies más utilizadas fueron *Gliricidia sepium* y *Cratylia argentea*, que tienen un alto valor nutritivo (Botero *et al.* 1999, Ibrahim *et al.* 1999, Lykke 2000). En cuanto al uso del suelo, en la zona de estudio hay un mayor porcentaje destinado a pasturas naturales; los ganaderos con SC destinan el 71,95% de sus potreros a pasturas naturales, mientras que los ganaderos con SSP las tienen en el 54,59% de sus terrenos. Por otra parte, las fincas con SSP dedican el 26,67% a pasturas mejoradas con árboles dispersos y 3,65% a pastos de corte, frente a 7,19% y 1,26% respectivamente en las fincas con SC. En las fincas con SSP es evidente el uso de tecnologías como: alta densidad de árboles dispersos en potreros, bancos forrajeros, cortinas rompevientos. Estas tecnologías forman parte de una ganadería amigable con el ambiente (Navas 2007).

Percepción, efectos y estrategias de adaptación al cambio climático

En la zona de estudio, los ganaderos que aplican SC y SSP tienen la misma percepción de los cambios que viene sufriendo el clima ($p > 0,05$); o sea que su percepción del cambio climático es acertada. Según Magrin *et al.* (2007), Taylor *et al.* (2007) y Bueno *et al.* (2008), el incremento de la temperatura de los últimos 50 años es dos veces mayor al aumento en los últimos 100 años. Como consecuencia del cambio climático, para los productores en la zona de estudio son evidentes algunas variaciones. Por ejemplo, el 81,16% de los ganaderos afirman que la temporada seca se ha alargado, aunque un 17,39% piensan que sigue igual. Quienes afirman que

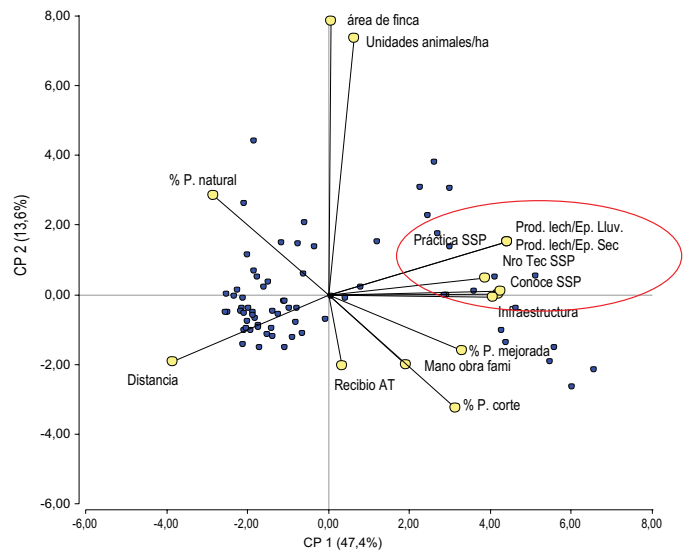


Figura 2. Localización en el espacio bidimensional de las variables cuantitativas de prácticas de manejo, producción y de conocimiento: el primer plano factorial representa un 47,4% de la varianza.

la época seca es ahora más larga mencionan consecuencias negativas como la muerte de animales (20,29%), disminución del caudal de agua (18,84%), pérdida de pastos (27,54%), pérdida de cultivos (15,94%), baja producción de leche (20,29%) y daños en el suelo (4,35%).

Por otra parte, las lluvias de mayor intensidad están provocando renquera y mucosidad en los animales (52,17%), derrumbes (30,43%), baja producción de leche (10,14%) y siembras tardías (7,25%). Ante los problemas mencionados, los ganaderos de la zona de estudio han empezado a aplicar medidas de adaptación al cambio climático (Figura 3). Los ganaderos SSP también están aplicando otras medidas de protección (Figura 4) que ya han probado su valor en otras regiones (Souza de Abreu *et al.* 2000, Cajas y Sinclair 2001); entre ellas, la implementación de bancos forrajeros (100%), la disminución de quemas (80%), la presencia de árboles dispersos en potreros (100%), la protección de ríos y quebradas y la búsqueda de capacitación.

Cuadro 2. Características cuantitativas de los sistemas convencional y silvopastoril en Río Blanco y Paiwas, Nicaragua

Variable	Unidad	Sistema convencional (media)	Sistema silvopastoril (media)	p-valor	
Producción/vaca/día	litro	2,9	4,6	0,0001	**
Área para la ganadería	ha	54,7	64,5	0,4198	ns
Tamaño de la finca	ha	67,8	75,0	0,5950	ns

** $p < 0,01$ según Prueba T (Bilateral) ns: no significativo

Los ganaderos con SC tienen muy pocos árboles dispersos en sus potreros y, con el aumento de la temperatura, los animales sufren el efecto del estrés calórico y, en consecuencia, se reduce la producción de leche. Por ello, una de sus medidas preferidas es la búsqueda de

animales resistentes a la sequía (91,84%). Estudios realizados por Souza de Abreu (2002) y Ojeda *et al.* (2003), señalan que los árboles dispersos en potreros tienen un efecto positivo en la productividad y en la producción de forraje en la época seca; mediante un análisis de correspondencia se determinó que la implementación de bancos forrajeros y de árboles dispersos en potreros mejora la producción de leche. Al respecto Ibrahim *et al.* (2001) señalan que el uso de bancos forrajeros como suplemento alimentario incrementa hasta en un 20% la producción de leche; en zonas con altas temperaturas, la presencia de árboles mitiga el estrés calórico del ganado y contribuye al incremento en la producción de leche y carne.

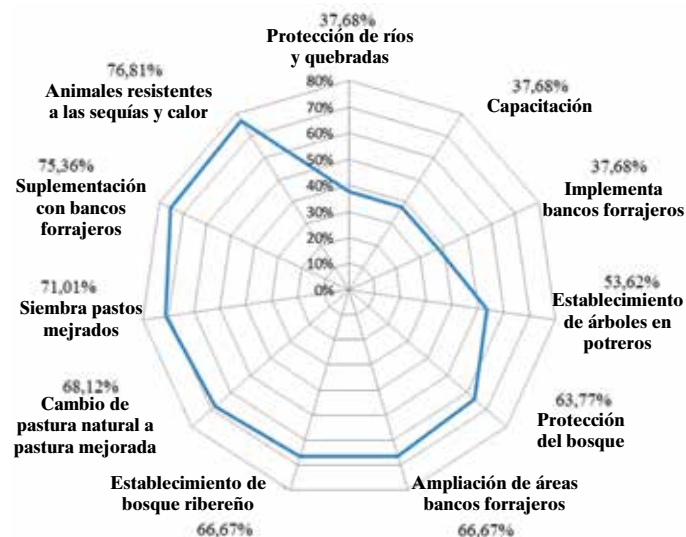


Figura 3. Principales medidas de adaptación aplicadas por los ganaderos de Río Blanco y Paiwas, Nicaragua

Potencial productivo de los sistemas silvopastoriles

Los potreros con árboles dispersos presentaron más cantidad de biomasa forrajera que los SC: 726,12 kg MS/ha de pasto natural (*Ischaemum ciliare*) en época seca contra 359,80 kg MS/ha. Estas diferencias en cantidades de biomasa se debieron al efecto benéfico de la cobertura arbórea: 6,29% de cobertura arbórea en SC, con una densidad de 26,5 árboles/ha; en los SSP la cobertura arbórea fue del 18,5% con una densidad de

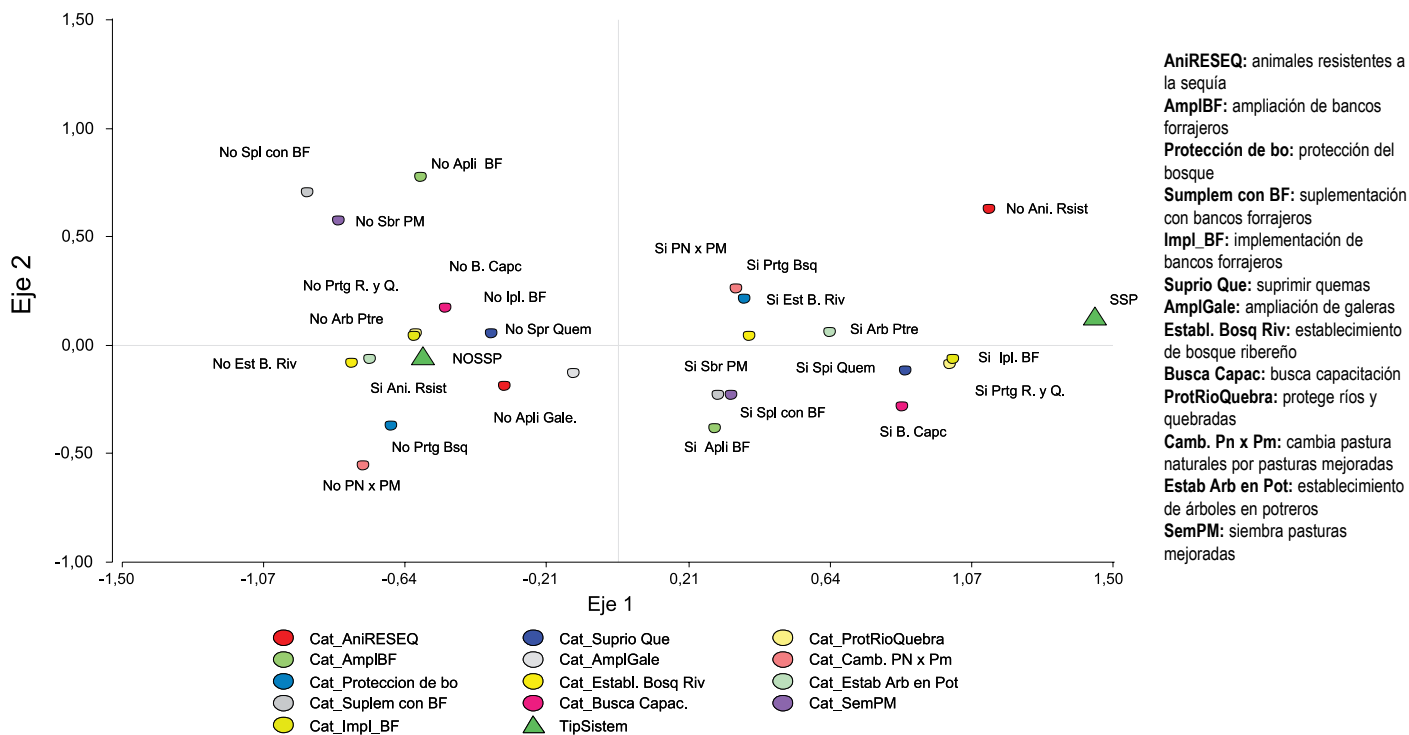


Figura 4. Localización en el espacio bidimensional de las variables cualitativas de las principales estrategias que aplican los dos sistemas de producción. El eje 1 y 2 explican el 52,35 % de inercia en los datos).

48,44 árboles/ha. Para determinar si efectivamente hay una relación entre biomasa forrajera y porcentaje de cobertura arbórea se realizó un análisis de regresión lineal, el cual mostró un efecto cuadrático ($r^2= 62,19\%$) entre las dos variables en la época seca ($p <0,05$). Las pasturas que crecen bajo la sombra de la copa de los árboles presentan mejor calidad nutritiva comparadas con las pasturas que crecen a plena exposición solar (Ribaski 2000); además, el suelo es más fértil, debido al reciclaje de nutrientes (Navas 2007, Fernández *et al.* 2006, Trujillo 2000).

Uno de los indicadores que demuestra la importancia de los SSP es la producción de leche. Los resultados del SC y SSP difieren estadísticamente ($p <0,05$) debido al tipo de alimentación que recibe el ganado en estado de lactancia. Los ganaderos con sistemas silvopastoriles brindan a sus animales pasto king grass verde, cratilia y madero negro (relación 2:1:0,5; 10,87 kg de MV/vaca). En los sistemas convencionales, el ganado se alimenta con caña de azúcar y king grass (12,90 kg de MV/vaca). En comparación con las leguminosas arbustivas (cratilia y madero negro), la calidad de la caña de azúcar y king grass es más baja (Sánchez 2007, Peters *et al.* 2003, Holguin e Ibrahim 2005). Si se combinara king grass con cratilia, o caña con cratilia se tendría un incremento del 25% en la producción de leche (Holmann y Lascano 1998, Lascano y Plazas 2003). El alto porcentaje de área destinada a pasturas mejoradas con árboles dispersos influyó también en la mayor producción de leche en SSP. Estas dos variables mostraron un efecto cuadrático entre ellas ($r^2= 51\%$, $p <0,05$).

Los indicadores de conservación IBSA demostraron que los ganaderos que aplican SC tienen un índice de conservación del 0,55, mientras que los ganaderos que aplican SSP tuvieron un índice de 0,73 ($p <0,05$), debido a la mayor cantidad de especies arbóreas, arbustos y pastos en las fincas que aplican SSP (Figura 5). Los árboles dispersos en potreros mejoran, además, el hábitat y los recursos complementarios para las especies de plantas y animales (Sáenz y Villatoro 2006, Menacho y Sáenz 2004), ya que la cobertura arbórea contribuye a la conectividad del paisaje y permite mayores conexiones y sitios de paso para el movimiento de especies animales (Sáenz y Villatoro 2006). Asimismo, los SSP sirven como amortiguadores entre áreas protegidas y áreas de producción más intensivamente utilizadas (Sáenz y Villatoro 2006, Pagiola *et al.* 2007).

En cuanto al contenido de carbono, las fincas con SSP presentaron 12,19 t C/ha en la biomasa arbórea, en tanto que en las fincas con SC solo se midieron 5,34 t C/ha. Estas cantidades de carbono mostraron diferencias estadísticas significativas ($p <0,05$). A los valores de carbono provenientes de la cobertura arbórea se debe sumar el incremento de carbono bajo el suelo de pasturas mejoradas con árboles; por el contrario, en las pasturas degradadas no se logra esta ganancia (Ibrahim *et al.* 2007). Si se usaran pastos mejorados y se aumentara la cobertura arbórea en pasturas degradadas podría mejorar el potencial de secuestro de carbono a nivel de finca (Ibrahim *et al.* 2007).

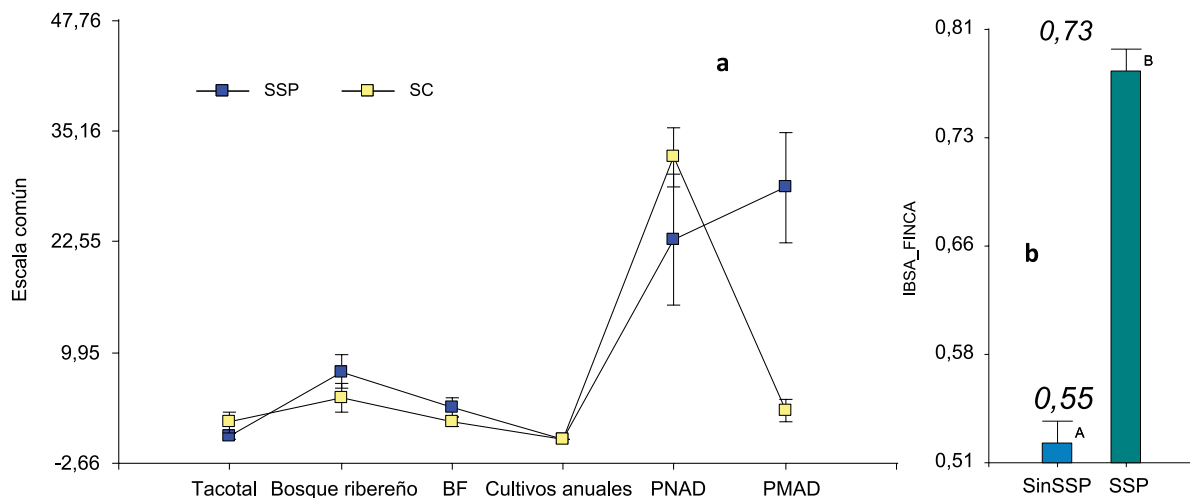


Figura 5. (a) Biodiversidad por uso del suelo en SSP y SC; (b) diferencias significativas encontradas en los IBSA de los SC y SPP.

BF: banco forrajero; PNDA: Pasturas naturales con árboles dispersos; PMAD: Pastura mejorada con árboles dispersos

Análisis financiero

En Nicaragua, los ingresos de los pequeños productores ganaderos provienen principalmente de la producción de leche; sin embargo, para los propietarios con explotaciones de mayor tamaño, la participación de la carne en la generación de los ingresos llega a alcanzar un 58% (Magfor 2008). En la zona de estudio, la fuente principal de ingresos de los ganaderos proviene de la venta de leche (72,34%), seguida por la venta de ganado (26,93%) y la venta de leña (0,73%). Los ganaderos que aplican SSP obtienen un ingreso promedio de US\$401,24/ha, en tanto que los ganaderos con SC reciben US\$258,62/ha (Cuadro 3).

Los resultados del análisis financiero indican que las fincas que cuentan con SSP son financieramente rentables. El resultado arrojó un VAN positivo de US\$845,85 y un beneficio/costo de 1,50 para las fincas que aplican SSP; mientras que en las fincas con SC, el VAN fue de US\$543,52 y un beneficio/costo de 1,51. El VAN mostró diferencias significativas ($p > 0,10$) entre los sistemas de producción con un nivel de significancia del 90%. Por lo tanto, por los indicadores financieros, y por las diferencias significativas entre el VAN, se puede afirmar que la implementación de bancos forrajeros y las pasturas mejoradas con árboles dispersos constituyen opciones factibles para los productores ganaderos nicaragüenses. El análisis beneficio/costo entre los dos sistemas de producción no mostró diferencia estadística ($p = 0,8320$) con un nivel de confianza del 95%. Sin embargo, este indicador demuestra que si bien ambos sistemas son rentables, quienes aplican tecnologías silvopastoriles tienen mayo-

res ventajas económicas (Gobbi y Casasola 2003). Hay que mencionar que en este análisis financiero no se consideró el costo de oportunidad de la tierra.

CONCLUSIONES

Los sistemas silvopastoriles constituyen la principal medida de adaptación al cambio climático en fincas ganaderas de los municipios de Paiwas y Río Blanco. Estos sistemas incrementan la producción de leche en la época seca y generan servicios ambientales como protección a la biodiversidad y secuestro de carbono, lo cual tiene impactos positivos en los medios de vida de las familias ganaderas.

Los sistemas ganaderos silvopastoriles son más rentables que los sistemas ganaderos convencionales. Esta rentabilidad tiene que ver con la mejor adaptación a épocas secas prolongadas y a eventos extremos, sin necesidad de dar mayores aportes nutricionales al ganado.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador por el aporte financiero para la ejecución del proyecto de tesis; al Proyecto Innovaciones Tecnológicas, CATIE-NESTLÉ del Programa de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente del CATIE por el apoyo técnico, logístico y divulgación de este estudio; finalmente, un agradecimiento a las comunidad de Río Blanco y Paiwas, Nicaragua por colaborar con este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Adger, W. 2003. Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change. *Economic Geography* 79(4):387-404.
- Barber, J, Biddlecom, A, Axinn, W. 2003. Neighborhood social change and perceptions of environmental degradation. *Population and Environment*. 25:77-108.
- BCN (Banco Central de Nicaragua). 2010. Estadísticas económicas trimestrales y mensuales, base de datos estadísticos (en línea). Managua, Nicaragua.. Consultado 15 de octubre del 2010. Disponible en http://www.bcn.gob.ni/estadisticas/trimestrales_y_mensuales/siec/demoFrameset.html
- Botero, J; Ibrahim, M; Bouman, B; Andrade, H; Camargo, JC. 1999. Modelaje de opciones silvopastoriles sostenibles para el sistema ganadero de doble propósito en el trópico húmedo. *Agroforestería en las Américas* 6(23): 60-62.
- Bueno, R; Herzfeld, C; Stanton, E; Ackerman, F. 2008. The Caribbean and climate change: The costs of inaction. Stockholm, Sweden, Tufts University, Stockholm Environment Institute, US Center Global Development and Environment Institute. 37 p.
- Button, C. 2010. Risk Perception & Adaptation to Climate Change: Comparative Case Studies. Understanding and Communicating Adaptation. Australia, Department of Geographical and Environmental Studies, The University of Adelaide. p 15.

Cuadro 3. Flujo de caja en los SSP y SC en Río Blanco y Paiwas, Nicaragua

Rubros	Sistema silvopastoril	Sistema convencional
	US\$ /ha	
Total ingresos	401.235	258.6125
Costos fijos	13,71	6,56
Costos variables	137.6325	89.5625
Mano de obra	52.0125	29.865
Alimentación	36.9275	31.2775
Agroquímicos	5.925	3.9475
Productos veterinarios	8.2125	6.8775
Mantenimiento	28.585	15.545
Otros	5.9725	2,05
Total egresos	151.3475	96.1225
Utilidad total	249.8875	162.49
Depreciación de activos fijos	13,71	6,56
Flujo neto del proyecto	263.5975	169.05

- Cajas, YM; Sinclair, F. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral system on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. *Agroforestry Systems* 53: 215-225.
- Casas Anguita, J; Repullo Labrador, JR; Donado Campos, J. 2003. La encuesta como técnica de investigación; elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos. *Atención Primaria* 31(8): 527-38. Consultado 5 de noviembre 2010. <http://external.doyma.es/pdf/27/27v31n08a13047738pdf001.pdf>
- Chuncho, C. 2011. Análisis de la percepción y medidas de adaptación al cambio climático que implementan en la época seca los productores de leche en Río Blanco y Paiwas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2010. InfoStat versión 2008. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, Grupo InfoStat.
- Fernández, M; Gyenge, J; Schilchter, T. 2006. Sistemas silvopastoriles en la Patagonia: primeros resultados de una nueva perspectiva de producción. Buenos Aires, Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 5 p.
- Gobbi, J; Casasola, F. 2003. Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica; avances de investigación. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 52-60.
- Holguin, V; Ibrahim, M. 2005. Proyecto enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 24 p.
- Holmann, F; Lascano, F. 1998. Una nueva estrategia para mejorar los sistemas de producción de doble propósito en los trópicos: el consorcio Tropileche. Congreso Internacional de Ganadería de Doble Propósito (1, Maracaibo, Venezuela, 5-8 noviembre 1998).
- Ibrahim, M; Camero, A; Jair, H; Camargo, JC. 1999. Agroforestería y sistemas de producción animal en América Central. *In* Pomareda, C; Steinfield, H. (eds). Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. Turrialba, Costa Rica, CATIE, FAO, SIDE. p. 177-198.
- 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; Proceedings (19, 11-21 febrero 2001, Brazil). p. 645-649.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Lascano, C; Plazas, C. 2003. Utilidad de la leguminosa semiarbustiva *Cratylia argentea* en sistemas de ganado doble propósito del piedemonte llanero: validación y difusión. Cali, Colombia, Proyecto CIAT-Pronatta.
- Leiserowitz, A. 2005. American Risk Perceptions: Is Climate Change Dangerous? *Risk Analysis* 25(6): 1433-1442. Consultado 10 de noviembre 2010. Disponible en http://anthonyleiserowitz.com/pubs_assets/AmericanRiskPerceptions.pdf
- Lykke, AM. 2000. Local perceptions of vegetation change and priorities for conservation of woody savannah vegetation in Senegal. *Journal of Environmental Management* 59: 107-120.
- Magfor (Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua) 2008. Subprograma Inversión de desarrollo integral para la producción de leche en polvo de alcance regional. Managua, Nicaragua. 100 p.
- Magrin, G; Gay García, C; Cruz Choque, D; Giménez, JC; Moreno, AR; Nagy, GJ; Nobre, C; Villamizar, A. 2007. Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability in Latin America (Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of IPCC). Cambridge, UK, Cambridge University Press. p. 581-615.
- Menacho, R; Sáenz, J. 2004. Monitoreo de la avifauna en fincas con sistemas de producción silvopastoril del cantón de Esparza, Costa Rica. *Zeledonia* (6): 2: 2-6.
- Mijail, A; Bornemann, G; Campo, L; Arana, I; Sotelo, M; Ramírez, F; Castañeda, E. 2003. Biodiversidad y producción en sistemas silvopastoriles de América Central. Managua, Nicaragua, UCA / Cantabria, España, Universidad de Cantabria. Cuadernos de Investigación UCA no. 15. 77 p.
- Milera, M; Lamela, L; Hernández, D; Hernández, M; Sánchez, S; Petón, G; Soca, M. 2001. Sistemas intensivos con bajos insumos para la producción de leche. *Pastos y forrajes* 24(1): 49-58.
- Navas, A. 2007. Influencia de la cobertura arbórea de sistemas silvopastoriles en la distribución de garrapatas en fincas ganaderas en el bosque seco tropical. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 77 p.
- Ojeda, P; Restrepo, J; Villada, D; Gallego, J. 2003. Sistemas silvopastoriles. Una opción para el manejo sustentable de la ganadería. Santiago de Cali, Colombia, Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 54 p.
- Pagiola, S; Ramírez, E; Gobbi, J; Haana, C; Ibrahim, M; Murgueitio, E; Ruiz, J. 2007. Paying for the environmental services of silvopastoral practices in Nicaragua. *Ecological economics* 64(2007): 374-385.
- Ribaski, J. 2000. Influencia del algarrobo *Prosopis juliflora* en la disponibilidad y calidad del forraje de pasto *Buffel Cenchrus ciliaris* en la región semi-árida brasilera. Consultado 15-12-2010. <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/AGROF99/Ribaski.htm>
- Ruiz, TE; Febles, G. 1998. Enfoque acerca del trabajo sobre árboles y arbustos desarrollado por el Instituto de Ciencia Animal de Cuba. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. 13 p.
- Sáenz, J; Villatoro, F. 2006. Un índice para valorar usos del suelo en agropaisajes rurales de Mesoamérica. *Boletín Oficial de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación* 10(3): 139.
- Souza de Abreu, M; Ibrahim, M; Harvey, M; Jiménez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 53-56.
- Taylor, M; Campbell, J; Stephenson, T; Whyte, F; Watson, R; Centella, A; Borrajero, I; Bezanilla, A; Rivero, R; Charlery, J. 2007. Glimpses of the future: A briefing from the précis Caribbean climate change project. Kingston, Jamaica, University of West Indies. 26 p.
- Trujillo, E. 2000. Silvopastoreo: Árboles y Ganado, Una Alternativa Productiva que implementa Colombia. *Revista Sig Pafc'* 15(8):3-5.

Cumplimiento de la norma para ganadería sostenible en diferentes tipos de fincas en los municipios de Paiwas y Río Blanco, Nicaragua¹

Diana Ochoa², Claudia Sepúlveda³, Muhammad Ibrahim³, Adriana Chacón³, Gabriela Soto³

RESUMEN

Se evaluó el nivel de cumplimiento de la Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera de la Red de Agricultura Sostenible en diferentes categorías de fincas en Río Blanco y Paiwas, Nicaragua. Se aplicó una entrevista semi-estructurada a 63 productores ganaderos que entregan leche a Prolacsa. Mediante la entrevista se obtuvo información general de las fincas, así como datos socioeconómicos y técnicos para un análisis de conglomerados con tres variables: área de la finca, producción y hato ganadero. El análisis de conglomerados permitió generar tres categorías de fincas: pequeñas, medianas y grandes ($p < 0,0001$). Se seleccionaron siete fincas de cada conglomerado para evaluar el cumplimiento de los cinco principios de la Norma y sus respectivos criterios, mediante observación directa en campo. Los resultados mostraron que no existe diferencia significativa en el cumplimiento de los criterios de la norma entre las tres categorías de fincas ($p = 0,2924$). Sin embargo, las fincas pequeñas y medianas tuvieron un mejor cumplimiento de criterios relacionados con la conservación de los recursos naturales, lo que las convierte en fincas más sostenibles y con mayor potencial para acceder a un sistema de certificación.

Palabras claves: Certificación, inversión, costos, Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera.

ABSTRACT

Compliance with the Standard for Sustainable Cattle Production in different types of farms from Río Blanco and Paiwas, Nicaragua

The level of compliance with the Standard for Sustainable Cattle Production Systems from the Sustainable Agriculture Network was assessed in different types of farms in Río Blanco and Paiwas, Nicaragua. A semi-structured interview was applied to 63 livestock producers who deliver milk to Prolacsa. Through the interview, general and socio-economic information and technical data were obtained, and a cluster analysis was performed using three variables: farm area, production, and herd. The cluster analysis generated three farm categories: small, medium and large ($p < 0.0001$). The five principles of the Standard, and corresponding criteria, were assessed in seven farms from each cluster through direct field observation. The results showed no significant differences in rates of compliance among types of farms ($p = 0.2924$). Small and medium-size farms, however, showed higher rates of compliance with criteria related to conservation of natural resources. Hence, these farms offered the greatest potential for certification.

Keywords: Certification, sustainable farming, investment, costs, Standard for Sustainable Cattle Production Systems.

INTRODUCCIÓN

La ganadería se ha convertido en uno de los rubros productivos de mayor importancia a nivel mundial. Sin embargo, la mayor parte de la producción pecuaria se practica de manera extensiva, lo que ocasiona serios problemas ambientales. En los últimos años, el hato ganadero centroamericano se ha incrementado en más de un 10%: 11.360.100 cabezas en el 2000 a 12.940.112 cabezas en el 2007. Para el 2009, la población bovina de Nicaragua sumaba 4.241.000 (Suárez 2009, Villanueva

et al. 2008). Las prácticas agropecuarias poco sostenibles han incrementado la degradación de los suelos (Gamboa *et al.* 2009), con lo que se disminuye la capacidad de proveer servicios ecosistémicos, así como la productividad, resistencia y resiliencia de los ecosistemas (De Clerck 2007).

Desde 1995, el CATIE, por medio del Programa de Ganadería y Manejo del Ambiente (GAMMA), ha

¹ Basado en Ochoa (2011).

² M.Sc. Agricultura Ecológica. Universidad Nacional de Loja, Ecuador. Tel: +59372585492/95769377, Fax: 95769377, kariochoag@yahoo.ac.cr/dochoa@catie.ac.cr (autora para correspondencia).

³ Profesores investigadores, CATIE. csepul@catie.ac.cr, mibrahim@catie.ac.cr, achacon@catie.ac.cr, gabisoto@catie.ac.cr.

venido trabajando en el desarrollo de la ganadería sostenible en Latinoamérica. Así, en el año 2007, el CATIE y la Secretaría de la Red de Agricultura Sostenible (RAS) iniciaron el diseño de una Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera con el fin de fomentar un mecanismo voluntario que conlleve a la certificación de operaciones ganaderas, emitida por Rainforest Alliance. La norma se publicó en julio del 2010 y ya hay fincas ganaderas certificadas en Brasil y Guatemala. Esta norma ganadera está compuesta por cinco principios de carácter social, ambiental, agronómico y de bienestar animal, y 36 criterios.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el porcentaje de cumplimiento de la Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera de la RAS en diversos tipos de fincas productoras de leche en los municipios de Paiwas y Río Blanco, departamento de Matagalpa, Nicaragua. Ambos municipios se ubican en el centro de Nicaragua (Figura 1); Río Blanco está a 110 km de la ciudad de Matagalpa y a 220 km de Managua, entre las coordenadas 12°56' N y 85°13' W. Paiwas se encuentra a 218 km de Managua, entre las coordenadas 12°47' N y 85°07' W. En los municipios se reconocen dos áreas climáticas: una tropical seca y una tropical húmeda, con temperaturas que oscilan entre 16 y 25°C. La principal actividad productiva en ambos municipios es la ganadería.

Categorías de fincas ganaderas

Para la identificación de los tipos de fincas se seleccionaron 288 productores que venden la leche directamente al centro de acopio Prolacsa (afiliado de Nestlé), ubicado en Río Blanco. Después de un muestreo aleatorio simple al total de productores, se escogió a 63 que representan el 21% del total de productores ganaderos de Río Blanco y Paiwas que venden la leche a Prolacsa. A estos se les aplicó una encuesta semiestructurada para recopilar información general de las fincas, datos socioeconómicos del productor (número de integrantes de la familia por género y edad, mano de obra contratada, mano de obra familiar, nivel de escolaridad de cada miembro), datos del manejo técnico de la finca (tamaño del hato, tipo de alimentación, manejo de potreros) y datos biofísicos (área de bosque ribereño, bosque primario, bosque secundario).

Para la tipificación de fincas grandes, medianas y pequeñas se utilizaron las siguientes variables: área de la finca, tamaño del hato y producción de leche. Se realizó un análisis de conglomerados con el método de Ward y la distancia Euclídea. Para cada grupo de fincas se definie-



Figura 1. Ubicación del área de estudio

ron las principales características ambientales, sociales y productivas.

Evaluación del cumplimiento de la Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera

Una vez conformados los conglomerados de fincas: fincas grandes (n=7), fincas medianas (n=19) y fincas pequeñas (n=37), de cada grupo se escogieron siete fincas al azar para realizar la verificación del cumplimiento de los cinco principios y 36 criterios de la Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera.

La metodología de calificación usada para verificar el porcentaje de cumplimiento de cada principio y criterio en las fincas fue la misma que se emplea en los procesos de certificación. Este sistema de calificación asigna un porcentaje por el cumplimiento total o parcial de los criterios específicos y por el cumplimiento total de los criterios críticos de cada uno de los cinco principios. A continuación se describe el cumplimiento de criterios específicos y criterios críticos:

- 1) **Cumplimiento de criterios específicos:** para obtener y mantener la certificación, las fincas deben cumplir, como mínimo, con el 50% de los criterios de cada principio y el 80% del total de los criterios de la Norma.
- 2) **Cumplimiento de criterios críticos:** los criterios críticos son aquellos que deben cumplirse al 100% para que la finca se certifique y/o mantenga su certificación.

Puesto que se trató de una investigación piloto que pretendía determinar la acogida de la Norma entre los productores, en el presente estudio se tomaron en

cuenta diferentes rangos porcentuales de cumplimiento de los criterios críticos, sin importar si dicho porcentaje era inferior al mínimo aceptable definido por la norma. Los rangos porcentuales de cumplimiento de los criterios fueron los siguientes:

- 100% Cumplimiento total
- 75% Cumplimiento medio alto
- 50% Cumplimiento medio
- 25% Cumplimiento medio bajo
- 0% No cumplimiento

Para obtener el *porcentaje de cumplimiento por principio*, se calculó la suma de los porcentajes de los criterios por principio y se dividió entre el número total de los criterios conformados por ese principio. Para obtener el *porcentaje del cumplimiento general*, se calculó la suma de porcentajes asignados a todos los principios y se dividió el total entre el número de principios de la Norma. La fórmula empleada fue:

$$\% \text{ cumplimiento general} = \frac{\sum(PC1 + PC2 + \dots + PCn)}{\text{números de criterios aplicables del principio}}$$

P: principio; C: criterio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipos de fincas

La producción de leche fue significativamente diferente ($p < 0,001$) entre los tipos de fincas encontrados (Cuadro 1), aunque la mayor producción promedio diaria, tanto en época seca (2,6 litros/vaca/día) como lluviosa (5,1 litros/vaca/día) se dio en las fincas pequeñas (Cuadro 2). Estas fincas poseen mayor área sembrada de pasto mejorado y mayor área de pastos de corte con árboles dispersos. Esta mayor producción se puede atribuir al asocio de pastos mejorados y árboles dispersos, lo cual permite una mayor disponibilidad de alimento tanto para el pastoreo como para el suministro a la hora del ordeño. Argel *et al.* (2000) afirma que el asocio entre pastos mejorados y árboles dispersos permite aumentar la productividad animal en explotaciones ganaderas bajo el sistema de producción de doble propósito.

En cuanto a las condiciones ambientales, las fincas medianas y pequeñas mostraron un mayor porcentaje de área de bosques primarios, secundarios y ribereños (Cuadro 2), lo que les permitirá en un futuro alcanzar estándares de calidad y sostenibilidad que les permitan acceder a la certificación y, a su vez, contribuir a la protección de fuentes de agua y la reproducción y conservación de especies silvestres de flora y fauna (Méndez 2008).

Desde el punto de vista social, las fincas grandes cuentan con mayor porcentaje de mano de obra y son fuentes de trabajo relativamente importantes. Ramírez (2002), en una investigación realizada en fincas ganaderas de la Amazonia colombiana, observó que las fincas grandes requieren más de cinco empleos diarios para el desempeño de sus actividades. Pérez *et al.* (2006) explica que esta situación se debe a que los productores grandes solo ejercen la función de supervisión y administración de la finca, ya que la mayoría de ellos viven en las cabeceras municipales y los miembros del grupo familiar realizan otras actividades diferentes a la ganadería; en consecuencia, se ven en la necesidad de contratar mano de obra asalariada permanente para los trabajos de ordeño y manejo del hato lechero, y mano de obra asalariada ocasional para trabajos de deshierbe, corrales y otras.

Cumplimiento de la Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera

En el Cuadro 3 se resume el grado de cumplimiento de la Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera en las siete fincas evaluadas de cada grupo: grandes (57,2%), medianas (61,7%) y pequeñas (61,8%). Los análisis estadísticos Anova indican que no existe diferencia significativa en el cumplimiento entre tipos de fincas ($p = 0,2924$).

En la Figura 2 se compara el nivel de cumplimiento de los principios entre tamaños de fincas. El principio 3, por ejemplo, mostró un mayor porcentaje de cumplimiento en fincas medianas y grandes. Esto quiere decir que los productores se esfuerzan por dar un buen trato a sus animales, a pesar de sus limitaciones. Una encuesta

Cuadro 1. Promedio de las variables utilizadas para la tipificación de fincas

Variable	Unidad	Grupo 1: Pequeñas (n=37)	Grupo 2: Medianas (n=19)	Grupo 3: Grandes (n=7)	p-valor
Área	ha	41,01a	108,84b	170,49c	<0,0001
Hato ganadero	animal	59,86a	160,47b	367,67c	<0,0001
Producción	litros-finca-día	44,08a	118,45b	307,7c	<0,0001

Letras distintas indican diferencias significativas entre los tres grupos de fincas.

Cuadro 2. Características de conglomerados de fincas grandes (fg), fincas medianas (fm) y fincas pequeñas (fp) en Río Blanco y Paiwas, Nicaragua

Sector	Detalle	Grupo 1 (fp) n=37	Grupo 2 (fm) n=19	Grupo 3 (fg) n=7
Productivo	Número	37	19	7
	Total de fincas (%)	58,73	30,15	11,11
	Tamaño promedio (ha)	41,01	108,84	169,02
	No. bovinos promedio (UA)	59,87	160,48	376,14
	Producción promedio (L/vaca/día)			
	Época seca	2,6	2,6	1,9
	Época lluviosa	5,1	4,8	3,4
	Carga animal (UA/ha)	0,61	0,65	0,46
	Razas de ganado	(BR x PZ) (HOLS x BR)	(Br x PZ) (BR)	(BR x PZ) (BR) (HOLS x BR)
	Mano de obra familiar (jornales/día)	2,28	1	1
Mano de obra contratada (jornales/día)	3	4	10,14	
Asistencia técnica (%) (productores)	48,6	52,63	57,14	
Nivel de escolaridad de productores	Primaria	Primaria	Primaria, secundaria	
Adopción de tecnologías:	Sí	Sí	Sí	
Porcentaje de productores que tienen:				
Sala de ordeño embaldosado	24,30	52,60	100	
Uso de mangas	18,90	42,19	85,70	
Galera	64	89,40	100	
Picadora	37,80	57,80	100	
Ambiental	Porcentaje promedio de bosque primario	0	0,81	0,29
	Porcentaje promedio de bosque secundario	10,06	8,81	4,13
	Porcentaje promedio de bosque ribereño	5,40	6,67	3,95

(BR x PZ) brahman x pardo suizo; (HOLS x BR) holstein x brahman; (BR) brahman

de bienestar animal en países de la región OIRSA (Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Guatemala, Belice, República Dominicana y México) obtuvo resultados similares (Alvarado 2010). Dicho estudio determinó que los productores se esfuerzan por tratar de forma adecuada a los animales y están conscientes de que el buen trato redundará en mejores ingresos.

El principio 4 'Reducción de la huella de carbono', medido a partir de la digestibilidad de los alimentos, control de efluentes y presencia de áreas destinadas a la conservación, obtuvo menores porcentajes de cumplimiento en relación con los demás principios en los tres tipos de fincas (Figura 2). Sin embargo, a pesar de los bajos porcentajes de cumplimiento, este principio alcanzó un porcentaje de cumplimiento más alto en las fincas medianas y pequeñas debido a una mayor presencia de áreas destinadas a la conservación y mayor cobertura arbórea. Ambas características contribuyen significativamente a la remoción de carbono; en las fincas grandes, la cobertura arbórea reducida provoca un mayor desbalance en la oferta de recursos naturales (Suárez 2009).

Criterios con mayor porcentaje de cumplimiento

La Figura 3 muestra los criterios que obtuvieron porcentajes de cumplimiento mayores a 50% en las tres categorías de fincas. En las tres categorías de fincas hay un alto porcentaje de cumplimiento en cuanto al no suministro de subproductos animales en la alimentación de los bovinos. Carvajal (2009) menciona que las harinas animales, como la harina de pescado, han contribuido a brotes de infecciones (encefalopatías espongiiformes y contaminación de agua por dioxinas) y otros males que se pueden presentar a lo largo de la cadena alimentaria. El 22 de mayo de 2001, la Unión Europea publicó el Reglamento CE 999/2001-69 para la prevención, control y erradicación de determinadas encefalopatías espongiiformes transmisibles; asimismo, se establecieron normas sanitarias aplicables a los subproductos animales que no deben suministrarse al ganado (productos derivados de la sangre y harina de pescado).

En cuanto al programa de salud del hato, en las tres categorías de fincas se hacen vacunaciones periódicas para prevenir enfermedades; las vacunas se aplican

Cuadro 3. Grado de cumplimiento de la Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera en fincas grandes, medianas y pequeñas

Principios	Criterios	Cumplimiento (%)			p-valor
		fg	fm	fp	
Principio 1: Sistema integrado de manejo de ganado	C1 Mapa de usos de suelo	14,29	28,57	28,57	0,7962
	CC2 Ganado nacido y criado en finca certificada	No aplica			
	CC3 Sistema de identificación individual	0	0	0	0,7962
	CC4 Prohibida la presencia de animales transgénicos	100	100	100	0,7962
	C5 Plan de alimentación	29,9	60,07	71,9	0,0059
	C6 Agua apta para el consumo de ganado	38,57	47,14	38,57	0,5577
	CC7 Prohibido suministrar subproductos animales	78,57	100	100	0,026
	C8 Programa de salud	75	75	75	0,026
	CC9 Administrar medicamentos según instrucciones	100	95,24	100	0,3874
	CC10 Medicamentos aprobados por autoridades de salud	89,6	90,9	90,9	0,3874
	C11 Programa de reproducción	57,14	64,29	78,57	0,3874
	C12 Programa integrado de manejo y control de plagas	54,77	45,23	54,77	0,28,84
Principio 2: Manejo sostenible de pasturas y tierras de pastoreo	C1 Implementar un plan de manejo de pasturas	52,4	57,16	61,93	0,6583
	C2 Producción de forraje dentro de la finca	29,9	60,07	71,9	0,0059
	C3 Selección de especies apropiadas de forraje	57,14	66,67	52,37	0,7346
	C4 Prevención de la degradación de pasturas	49,21	61,5	71,6	0,0168
	C5 Pastoreo en pendientes de más de 30° sin erosión	75,26	85,64	83,81	0,4214
Principio 3: Bienestar animal	C1 Documentar un programa de bienestar animal	0	0	0	0,4214
	C2 Instalaciones deben minimizar estrés en animales	96,4	82,1	71,4	0,1521
	CC3 La finca no debe maltratar a los animales	95,2	100	100	0,3874
	C4 Identificación animal sin sufrimiento	57,1	57,1	42,9	0,8478
	C5 Eutanasia en forma eficaz en animales desahuciados	28,6	14,3	14,3	0,7644
	C6 Recién nacidos alimentados con calostro	100	100	100	0,7644
	C7 La castración debe ser a la edad más temprana	100	100	100	0,7644
	C8 Descorne apropiado	64,3	92,9	71,4	0,0883
	C9 Detección de métodos apropiados para inseminación	100	92,9	92,9	0,6147
	C10 Inspección de los animales antes de viajar	100	100	100	0,6147
	C11 Instalaciones para cargar y descargar animales	57,1	14,3	0	0,0291
	C12 Vehículos deben garantizar seguridad a animales	45,5	92,2	100	<0,0001
Principio 4: Reducción de la huella de carbono	C1 Mejorar digestibilidad	53,6	64,3	50	0,3691
	C2 Control de efluentes de ganado en las instalaciones	7,1	14,3	14,3	0,7962
	C3 Conservación de ecosistemas	32,3	62,1	60,2	0,0234
Principio 5: Requisitos ambientales adicionales para fincas ganaderas	C1 Reducción del impacto negativo a los ecosistemas	0	0	0	0,0234
	C2 Minimizar el riesgo de ataques de animales silvestres	100	100	100	0,0234
	C3 Almacenar medicamentos en forma segura	66,7	76,2	90,5	0,0121
	C4 Tratar y desechar los desechos bio-infecciosos	85,71	64,29	85,71	0,1938

(C) criterio. (CC) criterio crítico. (fg) fincas grandes. (fm) fincas medianas. (fp) fincas pequeñas.

según las instrucciones del envase. Se observó que los medicamentos se suministran siguiendo las instrucciones del etiquetado de los envases y se cumple con los periodos de retiro y fechas de expiración de los medicamentos suministrados. En general, los productores están conscientes de los problemas que puede generar el uso incorrecto de medicamentos; sin embargo, carecen de un programa de salud del hato ganadero aprobado por un médico veterinario.

El criterio de castración obtuvo el 100% en los tres tipos de fincas debido a que, por tratarse de sistemas lecheros, los productores no practican la castración del ganado. Un estudio realizado en Matiguás, Nicaragua determinó que en los sistemas de carne sí se practica la castración (Benavides 2008). La Norma de Ganadería Sostenible sugiere que la castración debe realizarse a la edad más temprana posible para minimizar el dolor, y que debe hacerse mediante métodos quirúrgicos o emasculación; los animales castrados después de los dos

meses de edad deben tratarse con medicamentos para el dolor. Tanto la International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM 2002) como las normas nacionales de Nicaragua, elaboradas y actualizadas por el Ministerio Agropecuario y Forestal (Magfor), consideran la castración como una mutilación y no la recomiendan como parte del manejo habitual; si de todas maneras se aplicara, se debe minimizar el sufrimiento del animal y utilizar anestésicos.

Criterios con menor porcentaje de cumplimiento

En la Figura 4 se muestran los criterios que tuvieron porcentajes de cumplimiento inferiores al 50%. Una deficiencia evidente en los tres tipos de fincas es la inexistencia de mapas de uso de suelo. Los pocos productores que poseen mapas son aquellos que han contado con la asistencia técnica del proyecto Innovaciones Tecnológicas CATIE/Nestlé. La falta de registros de sus sistemas productivos es otra deficiencia; por lo general, en ninguna de las categorías de fincas se llevan registros reproductivos del hato, ni inventarios, ni controles de alimentación, ni de sanidad.

Cuando ha sido desahuciado, la mayoría de los productores dejan morir a los animales de muerte natural pues no disponen de otras medidas para que la muerte sea menos dolorosa. La técnica de marcado de los animales debe ser ejecutada por personal capacitado y con destreza; sin embargo, con frecuencia el trabajo se hace de manera muy rudimentaria y se provocan heridas profundas que afectan la salud del animal y la calidad del cuero.

La gran mayoría los productores no disponen de instalaciones para cargar y descargar los animales y así evitar

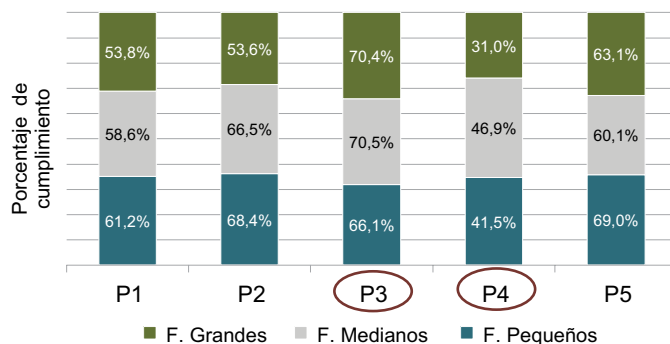


Figura 2. Cumplimiento de los cinco Principios de la Norma de Ganadería Sostenible en los tres tipos de fincas

P1: Sistema integrado de manejo de ganado, P2: Manejo sostenible de pasturas y tierras de pastoreo, P3: Bienestar animal, P4: Reducción de la huella de carbono, P5: Requisitos ambientales adicionales para fincas ganaderas

que sufran golpes y caídas. Dentro de los potreros no se cuenta con infraestructura como bebederos y comederos; para las necesidades hídricas de los animales se utilizan los ríos, quebradas o riachuelos, lo que provoca contaminación de las aguas ya que los animales defecan y orinan en las riberas.

El pastoreo en la mayoría de las fincas muestreadas se realiza en pendientes superiores a 30% debido a las condiciones topográficas de la región. La norma manifiesta que en caso de que se pastoree en pendientes superiores a 30%, se debe controlar la erosión en los potreros; este cuidado, sin embargo, no se tiene en cuenta en las fincas ganaderas estudiadas.

La cobertura arbórea en las tres categorías de fincas ronda entre 4-14%. Villanueva *et al.* (2008) y Esquivel (2007) aseguran que las pasturas con una cobertura arbórea entre 20 y 30% ofrecen beneficios a nivel eco-

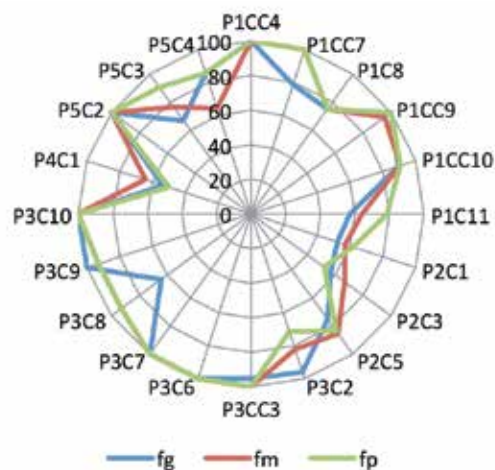


Figura 3. Criterios que obtuvieron porcentajes de cumplimiento mayores a 50% en las tres categorías de fincas: fg fincas grandes, fm fincas medianas, fp fincas pequeñas

(P1CC4) Prohibida la presencia de animales transgénicos. (P1CC7) Prohibido suministrar subproductos animales. (P1C8) Programa de salud. (P1CC9) Administrar medicamentos siguiendo instrucciones. (P1CC10) Medicamentos aprobados por autoridades de salud. (P1C11) Programa de reproducción. (P2C1) Implementar un plan de manejo de pasturas. (P2C3) Selección de especies apropiadas de forraje. (P2C5) Pastoreo en pendientes de más de 30° sin erosión. (P3C2) Instalaciones deben minimizar estrés en animales. (P3CC3) La finca no debe maltratar a los animales. (P3C6) Recién nacidos alimentados con calostro. (P3C7) La castración debe ser a la edad más temprana. (P3C8) Descorne apropiado. (P3C9) Detección de métodos apropiados para inseminación. (P3C10) Inspección de los animales antes de viajar. (P4C1) Mejorar digestibilidad. (P5C2) Minimizar el riesgo de ataques de animales silvestres. (P5C3) Almacenar medicamentos en forma segura. (P5C4) Tratar y desechar los desechos bio-infecciosos.

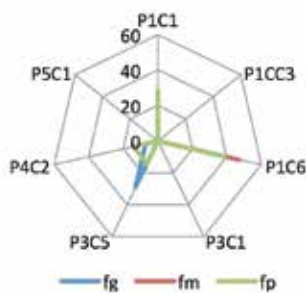


Figura 4. Criterios que obtuvieron porcentajes de cumplimiento inferiores a 50% en las tres categorías de fincas: fg fincas grandes, fm fincas medianas, fp fincas pequeñas

(P1C1) Mapa de usos de suelo. (P1CC3) Sistema de identificación individual. (P1C6) Agua apta para el consumo de ganado. (P3C1) Documentar un programa de bienestar animal. (P3C5) Eutanasia en forma eficaz en animales desahuciados. (P4C2) Control de efluentes de ganado en las instalaciones. (P5C1) Reducción del impacto negativo a los ecosistemas.

nómico, ecológico y productivo, en comparación con pasturas degradadas, con pocos o sin árboles.

CONCLUSIONES

Las fincas de tamaño mediano y pequeño poseen mayores porcentajes de áreas de pasturas mejoradas, árboles dispersos y áreas dedicadas a la conservación (bosque primario, secundario y ribereño). Esto contribuye a la protección de fuentes de agua, reproducción y conservación de especies de flora y fauna silvestre; asimismo, estas fincas logran mayores beneficios económicos debido a la existencia de bancos de proteína y energía que les permite una mejor producción promedio por animal al día, en comparación con las fincas grandes.

El cumplimiento de la Norma para Sistemas Sostenibles de Producción Ganadera no difiere estadísticamente entre tamaños de fincas; sin embargo, se encontró que las fincas pequeñas y medianas cumplen mejor con los criterios relacionados con la producción de forraje en la finca y la conservación de los recursos naturales; esto hace que sean fincas más sostenibles y con menos riesgo económico.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría Nacional de Educación Superior de Ciencia y Tecnología del Ecuador (SENESCYT) por el apoyo económico para llevar a cabo esta investigación.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), y al Programa de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente (GAMMA), por la capacitación brindada para la elaboración del presente trabajo.

Al Proyecto Innovaciones Tecnológicas CATIE/Nestlé de Nicaragua, por cobijar la ejecución de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, G; Gracia, A de; Sánchez, L; Cepeda, A; Velásquez, T. 2010. Encuesta de bienestar animal a los países de la región de OIRSA. Universidad de Santiago de Compostela, Argentina. Consultado 31 diciembre 2010. Disponible en <http://www.feagas.com/images/stories/portal/congresonacional/comunicaciones/25.pdf>
- 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. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico. 18 p.
- Benavides, Y. 2008. Evaluación de las potencialidades y limitantes de los productores del Proyecto Silvopastoril del municipio de Matiguás, Nicaragua para desarrollar la producción de carne orgánica certificada. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 127 p.
- Carvajal, G. 2009. Informe técnico sobre adulteraciones. Consultado nov. 2010. Disponible en http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/424/INFORME_TECNICO_SOBRE_LA_HARINA_DE_PESCADO_Y_ADULTERACIONES.pdf
- De Clerck, F. 2007. Cambiando de escalas: La Importancia de la escala del paisaje en el Manejo Integral de Fincas Ganaderas (en línea). III Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente. Heredia, CR, Noviembre 2007. Consultado 14 de octubre de 2009. Disponible en http://www.ijj.derecho.ucr.ac.cr/archivos/documentacion/cisda/2007/Biodive_rsidad%20y%20Productividad.pdf
- Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 161 p.
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). 2002. Normas básicas de IFOAM. Consultado Nov. 2010. Disponible en http://www.ifoam.org/standard/ibs_draft2_2002_nocor.html#8
- Méndez, J. 2008. Manual de recomendaciones para el manejo sostenible de la ganadería bovina de carne en la región chorotega. San José, Costa Rica, MAG/FCGG/BN/CORFOGA. 72 p.
- Ochoa, D. 2011. Evaluación del grado de cumplimiento de la Norma para Ganadería Sostenible en diferentes tipologías de fincas en los municipios de Paiwas y Río Blanco, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Pérez, E; Benjamin, T; Gobbi, J; Casanoves, F. 2006. Caracterización de sistemas silvopastoriles y su contribución socioeconómica en productores ganaderos de Copán, Honduras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 115 p.
- Ramírez, L. 2002. Caracterización y alternativas productivas para fincas ganaderas establecidas en la Amazonía colombiana. Agroforestería en las Américas 9(33-34): 53-56.
- Suárez, J. 2009. Análisis de rentabilidad en los sistemas tradicionales de producción y la incorporación de los sistemas silvopastoriles en fincas de doble propósito, Matagalpa – Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 102 p.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Torres, K; Torres, M. 2008. Planificación agroecológica de fincas ganaderas: la experiencia de la subcuenca Copán, Honduras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36p.

Avances de Investigación

Crecimiento y potencial de secuestro y fijación de carbono de seis especies forestales con el sistema agroforestal taungya en Rivas, Nicaragua

Ronaldo Martín Jiménez Gómez¹; Álvaro José González Martínez²;
D. Amílcar Jarquín Palacios¹; Héctor J. Pérez Cid¹; Joel Rojas Hernández¹;
Maritza A. Bustos López¹; Francisco J. Chavarría-Ñamendi¹

RESUMEN

En un sistema taungya se estudió el crecimiento, biomasa y carbono almacenado en seis especies forestales (*Swietenia humilis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia rosea*, *Gmelina arborea*, *Bombacopsis quinata*), asociadas con *Mussa balbisiana* (ABB). Las especies forestales y musáceas se plantaron a 1,50 x 6 m. Para la evaluación de las variables se seleccionaron al azar ocho árboles de cada especie; la biomasa y carbono almacenado se cuantificaron por método destructivo.

A los 5,25 años de establecidas, todas las especies presentaron una supervivencia mayor al 85%. En relación con el peso específico, *S. humilis* mostró el valor más alto (0,83 g/cm³) y *G. arborea* el mayor incremento medio anual (2,57 m de altura total y 5,10 cm en dap). Respecto al secuestro y fijación de carbono, *G. arborea* presentó el mejor comportamiento acumulado (187,40 t/ha) y una tasa anual de 35,37 t C/ha/año. El arreglo espacial se reveló apropiado, por lo que se recomienda para condiciones agroecológicas similares a las de este estudio.

Palabras claves: *Swietenia humilis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia rosea*, *Gmelina arborea*, *Bombacopsis quinata*.

ABSTRACT

Tree growth and potential carbon storing of six tree species in a taungya agroforestry system in Rivas, Nicaragua

In a taungya system, growth, biomass and carbon stored in six forest species was determined. *Swietenia humilis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia rosea*, *Gmelina arborea*, and *Bombacopsis quinata* were associated with *Mussa balbisiana* (ABB). Both forest and banana species were planted at 1.50 x 6 m. For evaluation of variables, eight trees of each species were randomly selected; biomass and carbon stocks were quantified by destructive method.

At 5.25 years, all species showed a survival over 85%. *S. humilis* showed the highest specific weight (0.83 g/cm³); *G. arborea* had the best average annual increase in overall height (2.57 m) and dbh (5.10 cm). Regarding carbon sequestration and fixation, *G. arborea* had the best cumulative performance (187.40 t ha⁻¹), with an annual rate of 35.37 t C ha⁻¹ year⁻¹. The spatial arrangement was appropriate, so it is recommended for similar agro-ecological conditions.

Keywords: *Swietenia humilis*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia rosea*, *Gmelina arborea*, *Bombacopsis quinata*.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales no sólo actúan como sumideros de carbono sino que también previenen el agotamiento de los ya existentes al reducir la presión sobre los bosques. Estos sistemas incluyen prácticas sostenibles de bajos insumos y, como proveedores de madera, evitan la sobreexplotación de los bosques (Dixon 1995 y Estela 1999 citados por Pérez *et al.* 2005).

Los sistemas basados en plantaciones forestales asociadas con cultivos anuales tienen por objetivo proteger al suelo de la erosión en sitios con pendientes mayores al 15% y, en su etapa final, producir madera comercial (Budowski 1984 citado por Pérez *et al.* 2005). Este sistema se conoce como rotación en laderas, o sistema taungya.

¹ Unidad de Investigación EIAG – Rivas, Nicaragua. www.eiag.edu.ni

² EIAG – Rivas, Nicaragua. Correo electrónico: alvargonz75@yahoo.com

Por otra parte, la emisión de gases con efecto invernadero provenientes de las actividades humanas es la principal causa del cambio climático (Bendaña 2005). De hecho, el CO₂ es el mayor causante de este cambio. Entre los años 1960 a finales de la década de 1980, el contenido de CO₂ se incrementó de 300 ppm (0,03%) hasta 340 ppm como resultado de la quema de combustible fósil, deforestación e incendios forestales.

Los bosques desempeñan un papel crucial en la mitigación y adaptación al cambio climático, ya que pueden contribuir a la reducción de las emisiones (FAO 2011). Los países en desarrollo deben promover actividades de forestación y reforestación dentro del marco de los mecanismos de desarrollo limpio; por ello, es importante el establecimiento de sistemas agroforestales que provean de mejores condiciones sociales y de vida a los productores. El sistema taungya, por ejemplo, genera beneficios con cultivos anuales y musáceas (1-3 años), con productos de poda y raleo (4-8 años) y con madera (>8 años). Se ha demostrado que los ingresos obtenidos con el sistema durante el primer año pueden sufragar los costos de establecimiento hasta en un 100% (González *et al.* 2009).

Con este estudio se ha tratado de determinar el potencial de secuestro y fijación de carbono de seis especies forestales asociadas con musáceas y cultivos anuales en la finca Santa María de la Escuela Internacional de Agricultura y Ganadería, ubicada en la comunidad La Chocolate, municipio de Rivas, Nicaragua (11°41' N y 85°83' W). Las especies arbóreas evaluadas fueron las siguientes: *Swietenia humilis*, *Tabebuia rosea*, *Pithecellobium saman*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Bombacopsis quinata* y *Gmelina arborea*.

El área de estudio

Las condiciones agroecológicas de la zona se caracterizan por una precipitación de 1614 mm/año (mayo a diciembre), temperatura media anual de 27°C y humedad relativa de 72-86%. La elevación media es de 70 msnm y la velocidad del viento entre noviembre y abril es de 3,70 m/s y de 2,40 m/s entre mayo y octubre (Ineter 2009). Los suelos varían entre franco a franco arcillosos, de topografía regular. En general, se trata de una zona cálida y seca (Salas 1993).

El diseño experimental se estableció en tres fases: junio 2003 (2,40 ha), junio 2004 (1,05 ha) y junio 2006 (1,05 ha). Las especies forestales se plantaron a 1,50 x 6 m asociadas con *Musa balbisiana* ABB establecida entre

calles a 1,50 x 6 m (sistema taungya) y cultivos anuales (arroz, melón, frijol, maíz y yuca) en el primer año de establecido. El costo total de establecimiento fue de US\$870,19/ha.

Para este estudio se consideró la plantación de la primera fase, a los 5,25 años de establecida. El área de 2,40 ha se dividió en cuatro parcelas diferenciadas por pendiente (entre 5 y 15%). En cada parcela se seleccionaron al azar ocho plantas por especie y se les midió la biomasa total y carbono por método destructivo (corte total de la planta).

El trabajo de campo se realizó entre octubre y diciembre 2008. Para el diámetro de copa se tomaron dos o tres lecturas por planta; el dap se midió con forcípula (cm) a 1,30 m. Una vez tumbada la planta, se midió la altura total, comercial y del tocón (m) y el diámetro (cm) de cada sección (Figura 1). La tasa de crecimiento anual se determinó a partir de la altura total y dap dividido entre la edad del árbol.

Posteriormente se separó fuste, hojas, ramas gruesas (≥ 4 cm) y delgadas (<4cm), y se registró el peso fresco en kilogramos de cada componente (Figura 2). La biomasa del tocón se estimó a partir del volumen (m³), peso seco (kg MS) y volumen del fuste

$$(\text{Peso seco del tocón} = \frac{\text{Vol.tocón}}{\text{Vol.fuste}} * \text{Peso seco fuste})$$

Para determinar el porcentaje de materia seca se tomaron muestras de 140-280 g de biomasa fresca de cada componente. Las muestras del fuste y ramas se seccionaron en trozos de 5 a 10 cm y las hojas en fragmentos finos. Las muestras se colocaron en bolsas de papel kraft y se secaron a temperatura de 60° C por 72 horas (Figura 3). El contenido de biomasa seca (kg MS) de cada componente se obtuvo a partir del peso fresco y el porcentaje de materia seca.

La biomasa de la raíz se estimó a partir de la vegetación aérea de la planta y el valor promedio proporcional propuesto por MacDicken (1997) citado por Schlegel *et al.* (2001). Según los autores, la raíz representa entre el 10 y 40% de la biomasa contenida en la vegetación aérea del árbol.

La cantidad de biomasa perdida durante el aserrado se determinó a partir del volumen de cada corte, el espesor del corte (0,009 m) y el diámetro menor y mayor del componente cortado (Figura 4). La sumatoria del volumen de cada corte correspondió al volumen perdido

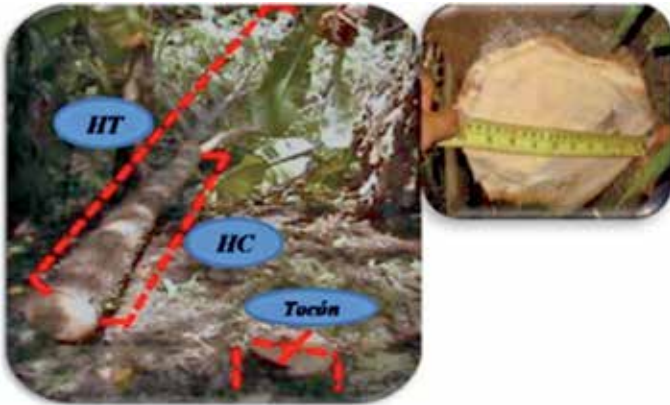


Figura 1. Mediciones en planta y tocón de *B. quinata*



Figura 3. Muestras frescas



Figura 2. Separación y peso de componentes

(m³). La biomasa perdida (kg MS) se estimó a partir del volumen perdido (cortes), el peso seco (kg MS) y el volumen del componente (fuste y ramas)

$$(\text{Biomasa perdida}) = \frac{\text{Vol.perdido}}{\text{Vol.fuste}} * \text{Pesosecofuste}$$

La biomasa total de la planta se obtuvo a partir de la sumatoria de biomasa aérea (componentes y cortes) y biomasa de raíces.

La cantidad de carbono almacenado en la vegetación se estimó con base en la cantidad de biomasa (kg MS) por componente y se multiplicó por el factor 0,5 propuesto por Ordóñez (1998) citado por Masera *et al.* (2000). Según los autores, la biomasa de todo organismo vegetal contiene el 50% de carbono. La sumatoria de carbono de los componentes correspondió a la cantidad total de la planta.

Para determinar el valor de peso específico básico (g/cm³), se cortaron dos discos de madera de 5-6 cm de ancho en cada extremo del fuste y ramas gruesas. En cada disco se tomaron dos muestras de madera en forma de triángulo (Figura 5) para determinar el volumen (cm³) en estado fresco y en el peso seco (g). Para ello, las muestras se introdujeron en horno y se siguió el mismo



Figura 4. Medición de diámetros

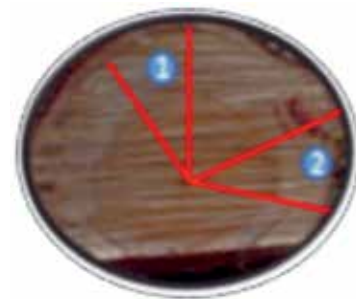


Figura 5. Toma de muestras

procedimiento empleado para determinar el porcentaje de materia seca.

La cantidad total de biomasa y carbono secuestrado (t MS/ha) a los 5,25 años se estimó con base en la densidad poblacional existente (porcentaje de supervivencia) de cada especie y el valor promedio de biomasa

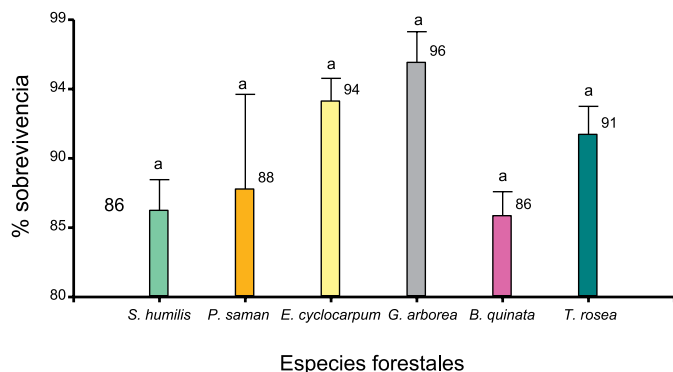


Figura 6. Porcentaje de supervivencia por especie

y carbono almacenado por planta. La tasa de fijación de carbono por especie (t C/ha/año) se estimó a partir del carbono almacenado por árbol dividido entre la edad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de supervivencia

El porcentaje de supervivencia estimado en todas las especies estuvo dentro del rango aceptable (más del 85%). Las especies que obtuvieron los valores más altos fueron *G. arborea*, *E. cyclocarpum* y *T. rosea*, que superaron en más del 5% a las demás (Figura 6). En estudios realizados en Chinandega, Nicaragua, Herrera y Lanuza (1995) estimaron en 88% la supervivencia de *G. arborea* en plantaciones de 5,6 años. La diferencia porcentual en relación con nuestro estudio puede deberse a problemas de calidad del sitio.

Indicadores de crecimiento

En altura total, dap y diámetro de copa, *G. arborea* presentó los mayores valores, únicamente superada en altura de fuste por *B. quinata* (Cuadro 1). *G. arborea*

tuvo un incremento medio anual (IMA) en altura y dap de 2,57 m y 5,10 cm respectivamente. Estos resultados son similares a los de Herrera y Lanuza (1995): IMA en altura de 2,20 m a los 5,6 años con un espaciamiento de 2 x 2 m. Betancourt (1983) reportó, para la misma especie, un IMA de 2,71 m en altura y 5,31 cm de dap a los 4,5 años, en una plantación con espaciamiento de 3 x 3 m en suelos ferralíticos rojos típicos.

Peso específico básico (g/cm³)

En relación con la proporción de superficie sólida (volumen macizo) y volumen de poros (huecos), *S. humilis* presentó el mejor valor en ramas gruesas y fuste. En este último indicador, la especie superó en más del 22% a *G. arborea* y en 196% a *B. quinata* (Cuadro 2). Posiblemente la edad, grado de humedad y sitio de los árboles influyeron en la densidad de la madera, ya que aún los árboles de una misma especie presentaron diferencias. En relación con *B. quinata*, estudios realizados en Colombia en plantaciones de 4,5 a menos de 20 años, se encontraron valores de densidades entre 0,24-0,42 g/cm³ (Urueña 1999 citado por Cordero y Boshier 2003), lo que indica que por el tipo de crecimiento de la especie, el valor de peso específico básico de la madera se incrementa con la edad de la planta.

Cantidad de biomasa por componente

G. arborea obtuvo el mejor rendimiento en biomasa total, superando en más del 250% y 1200% a *B. quinata* y *S. humilis* (Cuadro 3). El mayor contenido de biomasa lo presentó en ramas gruesas (32%). Posiblemente las condiciones del sitio, manejo y características genéticas influyeron en el desarrollo del fuste; *B. quinata*, en cambio, presentó el mayor rendimiento en el fuste (más de 30%).

Cantidad de biomasa y carbono almacenado

En relación a la biomasa y carbono secuestrado por hectárea, *G. arborea* presentó el mejor rendimiento

Cuadro 1. Indicadores de crecimiento de seis especies forestales en Rivas, Nicaragua, 2009

Especies	Altura (m)		dap (cm)	Diámetro de copa (m)
	Total	Fuste		
<i>Swietenia humilis</i>	5,68 a	1,43 a	7,01 a	2,29 a
<i>Tabebuia rosea</i>	7,65 a	2,78 bc	10,86 a	4,55 b
<i>Pithecellobium saman</i>	7,59 a	1,66 a	11,96 ab	4,58 b
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	9,57 b	2,31 ab	16,36 b	5,52 b
<i>Bombacopsis quinata</i>	10,12 b	4,34 d	16,49 b	4,83 b
<i>Gmelina arborea</i>	13,53 c	3,51 cd	26,81 c	8,20 c

Letras distintas indican diferencias significativas según LSD Fisher ($p \leq 0,05$)

Cuadro 2. Densidad o peso específico básico (g/cm³) según especies forestales en Rivas, Nicaragua, 2009

Especies	Ramas gruesas	Fuste
<i>Swietenia humilis</i>	0,75 e	0,83 d
<i>Tabebuia rosea</i>	0,49 cd	0,59 bc
<i>Pithecellobium saman</i>	0,43 bc	0,53 bc
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0,39 b	0,49 ab
<i>Bombacopsis quinata</i>	0,27 a	0,28 a
<i>Gmelina arborea</i>	0,55 d	0,68 cd

Letras distintas indican diferencias significativas, según LSD-Fischer ($p \leq 0,05$)

total y tasa de fijación al momento del primer raleo (5,25 años). Es importante mencionar que *G. arborea* expresa su máximo crecimiento en los primeros 5-6 años (Betancourt 1983) y luego se reduce fuertemente en los años posteriores (ciclo 35-40 años); esto permite que la cantidad de carbono almacenado por superficie (ha) sea

superior en ese período. Estudios realizados en plantaciones adultas de *G. arborea* en Guanacaste, Costa Rica encontraron que la cantidad de carbono fijado fue de 7,6 t/ha/año (Cubero y Rojas 1999). En nuestro estudio, sin embargo, se alcanzaron valores mucho más altos (Cuadro 4).

Cuadro 3. Producción de biomasa por componentes (MS – kg/árbol) según especies de 64 meses de edad en Rivas, Nicaragua, 2009

Especies	Fuste	Ramas gruesas	Ramas delgadas	Hojas	Raíz	Total
<i>Swietenia humilis</i>	5,63 a	6,60 a	3,26 a	2,36 a	8,92 a	26,77
<i>Tabebuia rosea</i>	11,18 ab	10,03 a	4,38 a	4,55 a	15,06 a	45,20
<i>Pithecellobium saman</i>	11,40 ab	16,41 a	5,84 ab	3,90 a	18,78 a	56,33
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	20,39 bc	22,50 a	7,75 ab	5,39 a	28,01 a	84,04
<i>Bombacopsis quinata</i>	31,85 c	19,90 a	10,96 ab	3,81 a	33,28 a	99,80
<i>Gmelina arborea</i>	73,18 d	110,43 b	29,43 c	20,43 b	116,73 b	350,20

Letras distintas indican diferencias significativas, según LSD-Fischer ($p \leq 0,05$)

Cuadro 4. Cantidad de biomasa y carbono secuestrado de distintas especies de 64 meses de edad en Rivas, Nicaragua, 2009

Especies	Biomasa(t MS/ha)	Carbono(t/ha)	Tasa de fijación (t C/ha/año)
<i>Swietenia humilis</i>	25,60 a	12,81 a	2,44
<i>Tabebuia rosea</i>	45,85 a	22,94 a	4,37
<i>Pithecellobium saman</i>	54,86 a	27,43 a	5,22
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	87,50 a	43,75 a	8,33
<i>Bombacopsis quinata</i>	95,26 a	47,63 a	9,07
<i>Gmelina arborea</i>	374,80 b	187,40 b	35,37

Letras distintas indican diferencias significativas, según LSD Fischer ($p \leq 0,05$)

CONCLUSIÓN

En procesos de reforestación, el establecimiento del sistema taungya garantiza beneficios directos e indirectos (servicios y productos) a corto, mediano y largo plazo. Los ingresos iniciales por lo general cubren los costos de establecimiento del sistema y los productos obtenidos (leña y madera) a partir del primer raleo permiten cubrir parte de los costos de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Bendaña, G. 2007. Problemas ecológicos globales ¿El principio del fin de la especie humana? (Con referencia a Nicaragua y Centroamérica). ARDISA. Managua, Nicaragua. 177 p.
- Betancourt, A. 1983. Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Habana, Cuba, Ed. Científica-técnica. 427 p.
- Cordero, J; Boshier, D. (Eds.). 2003. *Bombacopsis quinata*. In Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, United Kingdom, OFI/CATIE. P. 399-402.
- Cubero, J; Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina, teca y pochote en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Lic. en ciencias forestales. Heredia, Costa Rica, UNA. 95 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 176 p.
- González, AJ; Jarquín, DA; Jiménez, RM; Pérez, HJ; Dávila, GA. 2009. Guía de manejo de sistema taungya en el trópico seco. Rivas, Nicaragua, EIAG. 30 p.
- Herrera, Z; Lanuza, B. 1995. Especies para la reforestación en Nicaragua. Managua, Nicaragua, Hispamer. 185 p.
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2009. Normas históricas, Rivas. Consultado 20 de noviembre 2009. www.ineter.gob.ni.
- Masera, OR; Jong, B; Ricalde, I. 2000. Métodos para evaluar captura de carbono. Consultado 02 de julio 2008. <http://www.ine.gobmx/climático/descargas/cofimexforestal.pdf>.
- Pérez, E; Ruiz, C; Reyes, F; López, J; Calero, C. 2005. Potencial de plantaciones y fijación de carbono. Tomo II. Managua, Nicaragua, Magfor-Profor. 165 p.
- Salas, J. 1993. Árboles de Nicaragua. Managua, Nicaragua, Irena. 390 p.
- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Consultado 02 de julio 2008. <http://www.pasolac.com.ni>

Pago por servicios ambientales en el contexto de descentralización institucional de Nicaragua: el caso del PSA-H de la cuenca del río Gil González

Mariel Aguilar-Støen¹

RESUMEN

En este ensayo se analiza la gobernanza ambiental que emerge en el proyecto piloto “Pagos por servicios ambientales hidrológicos (PSA-H) de la cuenca del río Gil González”. En el marco del proyecto se encuentran y negocian paralelamente otros proyectos que tienen prioridad en la agenda de los actores participantes. La descentralización en el manejo de recursos naturales en Nicaragua ha propiciado una mayor participación de la sociedad civil y del sector privado en iniciativas ambientales. Se reconoce que el acceso a y la conservación del agua son prioritarios para los medios de vida campesinos y para la agroindustria. El PSA-H es una iniciativa que persigue estimular la conservación de los árboles en las parcelas campesinas por medio de sistemas agroforestales, para que se asegure el mantenimiento del recurso hídrico por medio de pagos anuales. Los fondos son aportados por la municipalidad de Belén, la Compañía Azucarera del Sur y la cooperación alemana para el desarrollo internacional. Sin embargo, el marco del proyecto no asegura que las actividades de todos los actores, así como los efectos ambientales, sociales y económicos sean fiscalizados de manera equitativa.

Palabras claves: Belén, ecología política, gobernanza ambiental.

ABSTRACT

Payments for ecosystem services within the context of institutional decentralization in Nicaragua: The pilot project PSA-H on the basin of Gil Gonzalez River

The environmental governance that emerges within a payment for environmental services pilot Project (“Pagos por Servicios Ambientales Hidrológicos de la cuenca del río Gil González”-PSA-H) in Belem, Nicaragua, was analyzed. Other projects from the agenda of the involved actors meet and are negotiated in the PSA-H project. The decentralization of natural resources management in Nicaragua has fostered a higher participation of civil society and the private sector in environmental initiatives. Access to water and its conservation are priorities for peasant livelihoods as well as for the agroindustry. This is recognized by the PSA-H Project, which seeks to stimulate tree conservation in peasant plots for securing the conservation of water through annual payments. Money is provided by the municipality, the sugar company Casur and the German cooperation for international development. However, the project’s frame does not grant that all actors’ activities as well as their environmental, social and economic effects are accounted for in equitable terms.

Keywords: Belén, environmental governance, political ecology.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este ensayo es discutir la gobernanza ambiental del proyecto “Pagos por servicios ambientales hidrológicos (PSA-H) de la cuenca del río Gil González”. En este texto se entiende el concepto de gobernanza como los medios y formas para distribuir recursos y ejercer control y coordinación; en este contexto, los actores públicos no son necesariamente los únicos participantes o los más significativos, más bien es un sistema en el cual tanto los actores públicos como los privados juegan varios roles (Bulkeley 2005).

El proyecto PSA-H está definido por el contexto de descentralización administrativa y económica del manejo de recursos naturales de Nicaragua. Durante la investigación, en el discurso de los actores involucrados se encontraron dos ideas que sustentan y articulan la participación del sector privado y el público en esta iniciativa: la idea de alianzas entre los sectores público y privado y la idea de responsabilidad social empresarial. Cabe destacar que estas ideas existen no solamente en la empresa privada, sino también en la cooperación inter-

¹ Ph.D. Centro para el Desarrollo y el Ambiente (SUM), Universidad de Oslo, Noruega

nacional y los gobiernos local y central. Varios proyectos se encuentran y se negocian en el PSA-H de la cuenca del río Gil González. Así, el proyecto de la cooperación internacional se articula con el de la empresa privada y el del gobierno, y con proyectos de familias campesinas.

Este ensayo ilustra que para mejorar el ambiente se forman muchas intervenciones a través del ensamble de objetivos, conocimientos, técnicas y prácticas de origen diverso (Li 2005). Con esta investigación se ha buscado contestar a las preguntas, quiénes ganan, qué ganan y de qué forma lo ganan con el proyecto PSA-H de la cuenca del río Gil González. El pago por servicios ambientales es una forma particular (o un intento) de gobernanza ambiental basada en la premisa de que los mecanismos de mercado podrían garantizar la conservación de la naturaleza mediante contratos voluntarios entre actores públicos y privados, o solamente entre actores privados. Mi trabajo sugiere la inexistencia de un “mercado” real en el que se oferten y demanden servicios ambientales; por ello, los proyectos de PSA deben diseñarse para cumplir varios fines alternativos. El ambiente y los recursos naturales han sido desde la década de 1990 prioridad en los programas de asistencia para el desarrollo de diversas agencias internacionales (Fairhead y Leach 2003); por eso, la cooperación para el desarrollo juega también un papel en el PSA-H estudiado aquí.

Este ensayo se basa en trabajo de campo realizado entre noviembre 2011 y febrero 2012, cuando se entrevistaron representantes de todos los actores involucrados en el proyecto, tanto a nivel local como nacional y se visitaron las fincas de las personas involucradas en el proyecto. Además, se hizo una revisión exhaustiva de literatura.

El PSA-H estudiado aquí se está implementando en parcelas en donde se han introducido sistemas agroforestales para la ganadería. Este ensayo es importante para los técnicos que trabajan con temas agroforestales, dado que el análisis sugiere que la adopción de dichas prácticas ocurre dentro de un contexto social, económico y político. Por lo tanto, hay factores de poder que determinan quién se beneficia y de qué manera se beneficia con la introducción o reforzamiento de ciertas prácticas agrícolas.

Descentralización administrativa y económica en el manejo de recursos naturales

La descentralización o la transferencia de responsabilidades y poderes por parte de agencias del gobierno central a gobiernos locales se inició en Nicaragua con la aprobación de la Ley de Municipios (Ley 40) en 1988 y

reformada en 1997 (Larson y Ribot 2004). Con la promulgación de la Ley de Transferencia Presupuestaria a los Municipios (Ley 466) en el 2003, y la política nacional de descentralización orientada al desarrollo local (Decreto 45), aprobada en 2006, se afianzó mejor este proceso. Estas dos medidas legislativas permitieron incrementar la transferencia del presupuesto nacional a las municipalidades (mínimo 10% en el año 2010). Uno de los objetivos de la política nacional de descentralización destaca el papel del sector privado en el desarrollo local, lo cual, como se verá más adelante, se articula con las alianzas público-privadas en el proyecto aquí estudiado.

Las reformas legislativas y políticas formales para la descentralización crean bases para la participación ciudadana y amplía las oportunidades que la gente tiene de influir en las decisiones del gobierno. La descentralización también implica el riesgo de que las élites capturen los gobiernos locales y establezcan relaciones jerárquicas en vez de procesos de participación democrática y fiscalización política. También existe el riesgo de que, con la descentralización, los gobiernos locales sean más susceptibles a los sobornos y a la corrupción (Nygren 2005). La descentralización en el manejo de recursos naturales puede asegurar una mayor participación de actores locales, con lo que, en algunos casos, se ha dado una descentralización “desde abajo” (Larson 2004), cuando las personas usan fundamentos formales y otros medios de apalancamiento político para aprovechar y hacer realidad nuevas oportunidades de participación en la toma de decisiones (Larson y Ribot 2004). Los recursos naturales se encuentran físicamente en el territorio local, han sido usados a lo largo de la historia por la población local y es esta misma población la que siente más de cerca las consecuencias de la escasez de, o exclusión en, el uso de recursos; por ello son buenos candidatos a la descentralización “desde abajo” (Larson 2004). Sin embargo, sin la presión de la población, los líderes locales pueden dar prioridad a obras de infraestructura que no consideren los recursos naturales, porque la inversión en infraestructura es, por una parte, más “visible” y por otra parte, puede considerarse como prioridad de “desarrollo” más importante. También es posible que se de prioridad solamente a los recursos naturales de los cuales se pueden obtener beneficios económicos inmediatos y se deje a un lado la conservación (Larson 2004).

Pagos por servicios ambientales

Puesto de manera muy simple, en los sistemas de pagos por servicios ambientales, al menos un “comprador” de

un servicio ambiental contrata y paga a un “proveedor” por las actividades que se requieren para asegurar el mantenimiento de funciones del ecosistema que permiten la generación del “servicio”². Se asume que de esta manera, los “proveedores” que viven cerca de los recursos a ser mantenidos tendrán incentivos adicionales para conservar o mejorar los recursos³. Los contratos son voluntarios y especifican obligaciones, medidas de monitoreo, control y sanciones por incumplimiento. En este ensayo se presta atención solamente al mantenimiento de las fuentes de agua a través de la persistencia de bosques y árboles a lo largo de la cuenca.

Los proponentes de PSA argumentan que el principio “cuasi-empresarial” de los esquemas de PSA es su característica más innovadora; de hecho, se considera que el PSA es la nueva generación de la conservación centrada en las personas (Wunder 2005). Otros afirman que el PSA es un intento por privatizar la conservación de la naturaleza, surgido con la ideología neoliberal en los años 1990 (McAfee y Shapiro 2010). América Latina ha sido, desde la década de 1990, un campo experimental para el establecimiento de sistemas de PSA (Grieg-Gran y Porras 2005, McAfee y Shapiro 2010, Zimmerer 2011). Actualmente, el PSA a nivel global se concentra en América Latina (Zimmerer 2011). A medida que la experiencia latinoamericana ha madurado, los promotores de PSA argumentan que estos esquemas pueden ofrecer, además de incentivos para la conservación de recursos naturales, oportunidades para combatir la pobreza (Grieg-Gran y Porras 2005, Pagiola y Arcenas 2005, Corbera y Brown 2007, McAfee y Shapiro 2010). Asimismo, en algunos países como México y Costa Rica, se ha puesto un mayor énfasis en los sistemas agroforestales como receptores de pagos por servicios ambientales. Esto coincide con la idea de que los PSA pueden contribuir al logro de varios objetivos, incluido el estímulo de prácticas agrícolas amigables con el ambiente (i.e. sistemas agroforestales y silvopastoriles). Este optimismo ha provocado que la cooperación internacional, como en el caso del proyecto presentado aquí, incluya también el PSA en sus portafolios de proyectos de desarrollo.

El proyecto Pago por servicios ambientales hidrológicos de la cuenca del río Gil González

Es interesante preguntar qué nuevas formas de organización, cuáles actores y con qué motivaciones participan en los PSA en un contexto específico. El objetivo del

proyecto piloto es la protección del bosque y de los árboles en sistemas agrícolas y ganaderos en la cuenca del río Gil González. Para lograrlo se ofrece un pago por hectárea a los productores que mantengan árboles en sus propiedades ubicadas a lo largo de la cuenca. El proyecto también tiene como objetivo incentivar la reforestación, principalmente en las áreas de recarga hídrica. La idea del proyecto surgió con la elaboración del plan de ordenamiento territorial municipal del municipio de Belén, en el que estuvieron involucradas agencias gubernamentales nacionales y municipales, con apoyo técnico y financiero de la cooperación alemana. Como parte de las consultas que se realizaron para la elaboración del plan, los pobladores identificaron la deforestación y la escasez de agua como problemas prioritarios para sus comunidades.

El proyecto involucra, además de la municipalidad de Belén, a 87 productores campesinos de la parte media y alta de la cuenca del río Gil González y a la Compañía Azucarera del Sur (Casur), dueña del ingenio Benjamín Zeledón situado en el municipio de Potosí. El proyecto es cofinanciado por la cooperación alemana, que aporta el 49%, la municipalidad de Belén, el 10% y Casur que contribuye con el 40% del presupuesto; el 1% lo aportan los pequeños productores de plátano. Cada participante recibe anualmente 713 córdobas (US\$30) por hectárea de terreno conservada con árboles. En la actualidad, esta suma es inferior al precio pagado por alquiler de una hectárea de terreno para agricultura en la localidad.

Los productores firman un contrato con la compañía azucarera, la municipalidad y la cooperación alemana en el cual se especifican las obligaciones de cada parte, así como las sanciones en caso de incumplimiento, las medidas de monitoreo y los derechos de las partes. El contrato tiene sustento legal en la Constitución Política de la República (Art. 60), la Ley general del medio ambiente, Ley 217 (Arts. 72,73 y 76) y la Ley de municipios y su reglamento, Ley 40 (Art. 7). Asimismo, es respaldado por un convenio de cooperación entre el servicio alemán de cooperación social y técnica (DED), la cooperación técnica alemana (GIZ), Casur y la alcaldía de Belén. Este convenio de cooperación, definido como una alianza público-privada (en inglés, *public-private partnership*), se enmarca dentro del programa nacional Programa Manejo Sostenible de los Recursos Naturales y Fomento de Competencias Empresariales (Masrenace) financiado por la cooperación alemana.

2 Para la narrativa científica sobre servicios ambientales/ecosistémicos ver Costanza *et al.* (1997).

3 Para la narrativa económica de los PSA ver Wunder (2005).

En los países del sur, las alianzas público-privadas (APP) han sido promovidas desde los años 1980, por agencias de la cooperación internacional para el desarrollo, el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional. Las alianzas, el ajuste económico, la privatización y la desregularización han sido desde entonces elementos centrales en el pensamiento de la cooperación para el desarrollo (Mitchell-Weaver y Manning 1991). La definición de qué es una APP es extremadamente vaga; Hodge y Greve (2007), por ejemplo, las definen como “arreglos cooperativos institucionales entre actores del sector público y privado”, aunque esos mismos autores señalan que no existe consenso sobre qué son las APP en realidad. Han sido las agencias de cooperación internacional las que han dado contenido al concepto; poco se sabe de cómo estas alianzas remplazan la responsabilidad del sector público en la provisión de bienes públicos, y si las mismas sirven a los intereses de los pobres (Miraftab 2004). A pesar de ello, los gobiernos centroamericanos en general, y el nicaragüense en particular, han adoptado la idea de las APP en sus planes de desarrollo rural. La premisa subyacente es que las alianzas mejorarán la creación de empleos y el crecimiento económico que contribuye al alivio o erradicación de la pobreza (World Bank 2001); sin embargo, no se toma en cuenta que la creación de riqueza no resulta automáticamente en una distribución equitativa de la misma, y que los actores participan en dichas alianzas en condiciones asimétricas de poder.

En el proyecto, las decisiones son tomadas por un directorio en el que están representados, con un miembro cada uno, Casur, la alcaldía de Belén, la Asociación de Municipalidades de Rivas (AMUR), la cooperación alemana (GIZ) y el gabinete nacional de producción; además, hay cinco representantes de los productores. El proyecto cuenta también con un comité técnico conformado por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (Marena), la Unidad ambiental de la alcaldía de Belén, el Ministerio Agropecuario y Forestal (Magfor) y el Instituto Nacional Forestal (Inafor). El comité técnico es responsable de dar asesoría y participar en las evaluaciones para verificar el cumplimiento de los compromisos acordados en el contrato. Sin embargo, las evaluaciones se realizan sin la participación de las organizaciones estatales mencionadas. En la práctica, solamente la municipalidad y los representantes del grupo de productores campesinos participan en las verificaciones de campo. Esto es problemático por dos razones. Primero, las evaluaciones no son hechas por un

observador independiente, y segundo, la participación de los campesinos en el monitoreo no es remunerada económicamente aunque les consume una cantidad considerable de tiempo. La forma en que se llevan a cabo las evaluaciones evidencia la debilidad de las instituciones del gobierno central en cumplir con el rol que de ellos se espera por parte de los participantes en el proyecto.

¿Por qué participan los distintos actores en el proyecto?

La compañía azucarera es, junto con la Zona Franca Gildan y el turismo, la fuente más importante de empleo en el departamento de Rivas. Casur está actualmente invirtiendo en la modernización de la producción. Según lo expresado en las entrevistas, modernizarse significa entrar en nuevas formas de relación con el sector público, las comunidades y el medio ambiente en la zona de influencia del ingenio. Casur ha sido asesorada por la “Unión Nicaragüense de Responsabilidad Social Empresarial- uniRSE⁴” para desarrollar una estrategia de responsabilidad social empresarial (RSE). Con frecuencia se supone que los mecanismos para mejorar el comportamiento social y ambiental de las empresas privadas redundarán en nuevas formas de protección a grupos en situación de pobreza (Newell 2005). La RSE se ha convertido en un eje central del discurso de corporaciones, agencias internacionales de desarrollo, agencias bilaterales y multilaterales de desarrollo. El Banco Interamericano de Desarrollo, por ejemplo, argumenta que la RSE es “*desarrollo hecho por el sector privado que complementa los esfuerzos de desarrollo de los gobiernos y de las instituciones multilaterales*” (Jenkins 2005). La RSE es también prominente en el discurso de las corporaciones centroamericanas, quienes asumen que si las empresas crecen y prosperan también lo harán las personas que viven cerca de donde las empresas operan.

La agenda actual de la corriente dominante de RSE a nivel global no incluye, sin embargo, atención a prácticas corporativas como la evasión de impuestos o el abuso del poder del mercado, ni tampoco trata de manera explícita los impactos de las actividades corporativas sobre la pobreza (Jenkins 2005), las relaciones laborales o el ambiente. En general, en Centroamérica son las empresas mismas las que definen el contenido de lo que es “sustentable” y para quién lo es, y las que autoevalúan el cumplimiento de los principios definidos por ellas mismas en sus estrategias de RSE.

4 uniRSE es una organización no gubernamental, sin fines de lucro, establecida en el 2005. Es financiada por la cooperación internacional para el desarrollo, el Banco Mundial y el BID, y se dedica a la promoción de la responsabilidad social empresarial en Nicaragua. www.unirse.org

En el pasado se han registrado quejas y protestas por la contaminación del aire y las aguas provocadas por la producción del ingenio Benjamín Zeledón; a nivel nacional, se ha llamado la atención sobre la insuficiencia renal crónica (IRC) que tiene una incidencia más alta entre los trabajadores de la caña que en el resto de la población⁵, aunque se desconocen las causas exactas⁶. De hecho, los trabajadores del sector azucarero solicitaron al gobierno nicaragüense que se reconociera la IRC como una enfermedad ocupacional, de manera que los trabajadores tuvieran mejor cobertura sanitaria. El gobierno, sin embargo, no atendió la demanda de los trabajadores.

Para Casur, el PSA forma parte de su estrategia de responsabilidad social empresarial. El PSA es visto como un medio para dialogar con las comunidades, articular esfuerzos con el sector público y generar un impacto en el ambiente, con el objetivo de mejorar la imagen de la compañía. Según cálculos proporcionados por la alcaldía de Belén, en la producción de caña de azúcar se consumen anualmente 87 millones de metros cúbicos de agua.

La alcaldía de Belén participó en la elaboración del plan de ordenamiento territorial del área. En el proceso de consulta, las comunidades identificaron la deforestación y la escasez de agua como problemas que requerían atención inmediata. A pesar de ser una de las municipalidades más pobres del departamento de Rivas, la organización y “la voz popular” son fuertes en el área. Desde el 2004, la población local ha dado prioridad al sector ambiental; así, se han llevado a cabo procesos de consulta (cabildos) establecidos por la Ley de municipios y la Ley de participación ciudadana. Durante las consultas para la formulación del presupuesto municipal y el plan de inversión municipal, la ciudadanía en Belén ha dado prioridad a tres aspectos: a) educación; b) construcción y mejoramiento de caminos; c) el pago por servicios ambientales. En la medida de sus posibilidades, la administración municipal ha respondido a las prioridades expresadas por la ciudadanía. Participar en el PSA es una de estas respuestas. El municipio de Belén utiliza anualmente 0,6 millones de metros cúbicos de agua para el consumo humano.

Para las familias productoras involucradas, el acceso al agua, la disponibilidad y calidad del recurso fueron las

razones más importantes que les motivaron a participar en el proyecto. A lo largo de los años las familias productoras han experimentado una creciente escasez de agua, lo cual tiene implicaciones directas para sus medios de vida. Pero también, a través de los años se ha venido dando una gradual regeneración de los árboles en sus propiedades (O’Toole y Aguilar-Støen 2012). Luego de la derrota electoral del Sandinismo en 1989 y la cancelación de programas de asistencia técnica, provisión de insumos y crédito al campo, la Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos (UNAG), que aglutina a campesinos que recibieron tierras durante la reforma agraria, lanzó un programa para aliviar la precaria situación en el campo. El programa “de campesino a campesino”, financiado hasta el 2006 por la cooperación suiza, era un programa para estimular el intercambio de experiencias y conocimientos entre campesinos. En la agenda del programa se incluían temas de agroecología, conservación de suelos, control de incendios, conservación de biodiversidad y de recursos naturales, así como diversificación productiva. Por medio de este programa, así como del proyecto Suroeste financiado por la cooperación alemana, algunas familias de Belén recibieron semillas, árboles y capacitación para la diversificación agroecológica de sus fincas. Bajo estas condiciones, estas familias campesinas contaban con uno de los recursos más importantes para la realización del proyecto de PSA: los árboles en sus sistemas agrícolas y ganaderos.

La participación de la cooperación alemana en este proyecto se enmarcó dentro de las prioridades identificadas para Nicaragua. La cooperación alemana para el desarrollo inició actividades en el país desde los años 1980 y actualmente se enfoca en tres áreas: política ambiental y uso sostenible de los recursos naturales, descentralización y consolidación de la ley y la democracia y abastecimiento de agua y disposición de aguas residuales. El PSA se enmarca dentro del enfoque general de la cooperación alemana de fortalecer y estimular los vínculos entre los sectores público y privado a través de alianzas para la cooperación público-privada. Parte de los fondos alemanes para el proyecto los maneja Casur y otra parte la municipalidad de Belén; de esta forma, la alianza entre estos actores se convierte en una APP. Uno de los retos para la próxima fase del proyecto es generar entre los actores privados del área, fondos suficientes para remplazar el aporte de la cooperación alemana.

5 <http://www.rel-uita.org/agricultura/agrotoxicos/irc/index.htm>

6 http://www.cao-ombudsman.org/cases/document-links/documents/BU_Informe_Entrevistas_FEB_2012_Esp.pdf

Negociación de derechos y responsabilidades en el PSA: poder y toma de decisiones

Los productores campesinos propusieron que se cambiaran los términos del contrato y se incluyera en el proyecto a personas que no podían demostrar legalmente la tenencia de su tierra. De esta manera, se amplió la elegibilidad de las personas que viven en el área para que pudieran participar en el proyecto. Este es, sin duda, un ejemplo del poder de decisión que los campesinos han ganado con el proyecto.

Representantes de la cooperación alemana explicaron que el PSA fortalece la descentralización y la participación de la sociedad civil en el manejo del agua. El contar con un directorio amplio para la toma de las decisiones hace que todos se sientan participantes y que las decisiones sean transparentes.

Durante una discusión con un grupo de productores, uno de ellos dijo: *“...Casur está pagando por un lado, pero por el otro lado anda botando todos los palos para sembrar más caña... los terrenos del estero se van a sembrar con caña, para eso lo están secando y muchos [campesinos] se van a quedar sin poder pescar peces o tortugas. Le quitan la oportunidad a otras gentes... mejor que no den incentivo pero que no boten los palos...”* Yo pregunté si habían discutido esto durante las reuniones del proyecto, a lo que contestaron que les gustaría preguntarlo en una reunión del directorio, pero que todavía no se habían atrevido.

Los tres párrafos anteriores permiten ilustrar dos asuntos. Primero, que el proyecto y su directorio para la toma de decisiones pueden ser descritos como un espacio de participación invitado. Gaventa (2004) llama espacios de participación a oportunidades, momentos y canales a través de los cuales los ciudadanos pueden actuar para afectar las políticas, discursos, decisiones y relaciones que afectan sus vidas y sus intereses. Los espacios invitados son aquellos a los cuales la población (como usuarios, ciudadanos o beneficiarios) son invitados a participar por las autoridades (Gaventa 2004). Y segundo, que los conocimientos, experiencia, capacidades y habilidades ganadas al interactuar en un espacio de participación pueden ser usadas para incidir en otros campos donde se tomen decisiones, pero no siempre es este el caso.

Está claro que la forma de organización del proyecto, que incluye un directorio donde están representados todos los actores, es valorado positivamente por los

participantes. Sin embargo, es importante reflexionar sobre cómo se creó este espacio de participación y quién lo creó, porque esto establece los márgenes de lo que es posible discutir y decidir en el proyecto. Igualmente, las negociaciones dentro de este espacio están limitadas por relaciones de poder pre-existentes y asimétricas. Luego de la elaboración del plan de ordenamiento territorial, la cooperación alemana financió un estudio de pre-factibilidad del PSA que identificó a Casur como uno de los actores relevantes. La municipalidad, asesorada y acompañada por la cooperación alemana, presentó la idea del PSA a Casur. La empresa, que en ese momento se encontraba buscando un proyecto para la comunidad en el cual invertir como parte de su estrategia de RSE, se unió al PSA-H de la cuenca del río Gil González, para materializar dicha estrategia. Los campesinos fueron invitados posteriormente. Varios de los que fueron invitados habían sido beneficiarios de un proyecto anterior financiado por la cooperación alemana (proyecto Suroeste).

Así, lo que se discute y decide en el directorio se limita a lo que ha sido definido como relevante para el proyecto por los actores que lo diseñaron e invitaron a los otros a participar. En este sentido, la inclusión de personas que no pueden demostrar legalmente la tenencia de su tierra es legítima y acertada. Ahora, una discusión sobre los efectos de las actividades productivas de la compañía azucarera sobre el ambiente, ya sea en la municipalidad donde esta opera o en otras municipalidades, está fuera de los límites de lo que es aceptable discutir en el directorio. Estos espacios invitados para la toma de decisión no eliminan las diferencias de poder pre-existentes en el contexto donde se realiza el proyecto. De tal forma que, aunque se le llame “participativo”, la capacidad para definir cómo operará el proyecto y decidir qué temas pueden ser tratados en el directorio, está limitada por relaciones de poder que operan de manera más amplia en el contexto nacional y rural.

La participación en el proyecto, los conocimientos, experiencias y habilidades ganadas por los campesinos participantes, así como su experiencia con otros proyectos similares, les ha servido para aprovechar un nuevo espacio y conseguir que el asunto ambiental tenga prioridad en la municipalidad. Los cabildos municipales son este nuevo espacio, en donde se decide sobre la asignación presupuestaria del municipio. En estas consultas, la población le ha dado prioridad a la asignación de presupuesto municipal para la continuación del PSA. Además, la población participó en la elaboración de

una ordenanza municipal que prohíbe la tala de árboles y participa activamente en la fiscalización del cumplimiento de dicha ordenanza.

Sin embargo, la comunidad de Belén (o cualquier otra en Nicaragua) no participa en la definición del contenido de la agenda de RSE de ninguna empresa, ni en la fiscalización de las actividades de actores privados. La idea de “responsabilidad” le concede a las empresas el poder de fijar los términos de su propia conducta (Newell 2005). La idea de RSE se originó en Europa y los EEUU, donde los sindicatos, las organizaciones no gubernamentales y otras organizaciones de la sociedad civil tienen los recursos necesarios para fiscalizar las actividades de las corporaciones (Jenkins 2005, Newell 2005). Las comunidades rurales nicaragüenses están en una posición mucho más débil y carecen de la capacidad y los recursos para negociar con las compañías en términos de relativa equidad, o para ejercer una función fiscalizadora. De ahí que para muchos de los entrevistados, las diferencias entre RSE y filantropía corporativa no están claras.

Ante la ausencia de una estimación económica del valor del agua, se usó el precio al cual se rentaba la tierra en el área al inicio del proyecto, como un sustituto *ad-hoc* para fijar el valor de los pagos por servicios ambientales. El precio de renta de terrenos agrícolas se ha incrementado desde el inicio del proyecto, pero no así el pago que los productores campesinos reciben. Con la actual discusión en torno al valor del canon de agua en Nicaragua, los usuarios agroindustriales tendrán que pagar por el agua que consumen. Casur estaría dispuesta a continuar aportando al proyecto siempre y cuando en el pago por consumo de agua se le reconozca lo que la empresa aporta al PSA-H. Por otra parte, no hay certeza de que al fijarse e implementarse el canon de agua para usos agroindustriales, los fondos que se generen con dichos cobros regresen al PSA-H de la cuenca del río Gil González, porque hasta el momento no existe una normativa nacional para pagos por servicios ambientales.

CONCLUSIÓN

Este trabajo sugiere que varios proyectos se negocian dentro del proyecto PSA-H de la cuenca del río Gil González. El proyecto de las alianzas público-privadas, promovido por la cooperación alemana, se traduce en un híbrido en el cual el aporte económico tiene la intención de demostrar que este tipo de alianzas son posibles. En el futuro, con la participación de otros actores del sector privado, como los grandes productores de banano

que utilizan 78,5 millones de metros cúbicos de agua, la alianza puede consolidarse. El problema será quién define y fiscaliza el contenido, la forma y el alcance de las alianzas público-privadas.

Tales alianzas son también parte del proyecto del gobierno nicaragüense. Sin embargo, hasta ahora el aporte no ha sido suficiente como para que dichas alianzas garanticen la capacidad de la sociedad civil de participar y monitorear el proceso en igualdad de condiciones y resulte en una mejora significativa de los medios de vida rurales.

Para Casur, antes que la alianza público-privada, está su proyecto de responsabilidad social empresarial. Con este, la empresa persigue una agenda de modernización que, además de nuevas formas de relación con el sector público, considera la expansión en un 50% del área sembrada con caña a la que tiene acceso la compañía. La nueva configuración de la producción de caña de azúcar y del mercado en la región requiere un mayor volumen de producción, así como la participación de la empresa en la producción de etanol y energía eléctrica. Esta expansión en el área sembrada con caña tiene claramente efectos sobre el ambiente y el acceso y uso del agua. Mientras la sociedad civil no cuente con algún poder real para fiscalizar y sancionar las actividades de las empresas privadas, las diferencias entre RSE y filantropía seguirán siendo vagas.

Los proyectos de las familias campesinas se orientan a asegurar la viabilidad de sus medios de vida. Si bien es cierto que el agua es importante para los medios de vida campesinos, también es fundamental para las actividades económicas agrícolas e industriales, y el proyecto PSA-H lo reconoce. Sin embargo, en el contexto de este proyecto, las familias campesinas en mayor grado que los otros actores involucrados están cambiando su conducta en cuanto a los usos del suelo y de los recursos naturales. Son estas familias las que se han comprometido a no cambiar el uso de la tierra de sus parcelas agroforestales, y en caso de incumplimiento han aceptado ser sancionadas. Estas familias han consentido voluntariamente recibir un pago que es inferior al equivalente de lo que recibirían por alquilar sus terrenos para usos agrícolas. Algunos miembros de estas familias trabajan sin remuneración económica en la supervisión del cumplimiento de los contratos, mientras que por el mismo trabajo, los empleados de la municipalidad reciben un salario. Aunque se ha buscado construir un espacio para la toma de decisiones en el

que haya equidad en la representación de los diversos actores, las relaciones de poder pre-existentes, así como las identidades con las que participan los actores se modifican solamente dentro de límites que el proyecto mismo fija. De tal forma que una discusión más amplia sobre la conducta de todos los actores está fuera de los límites de lo que es discutible y negociable.

Los sistemas agroforestales proveen numerosos beneficios a las familias productoras campesinas, y estos sistemas son estimulados por el proyecto de PSA-H. Sin embargo, dado que no existe un mercado real de servicios ambientales, las familias campesinas no tienen opciones reales de vender los servicios a otros actores o a otro precio. Tampoco tienen la opción de elegir en qué otras áreas debería conservarse los árboles y los bosques, porque la realidad es que en el área se le da prioridad a la producción de azúcar sobre la conservación de otros espacios (e.g. el estero mencionado por los campesinos). El proyecto ha abierto un espacio de diálogo y negociación entre una empresa privada, la municipalidad y la cooperación internacional. Este espacio, sin embargo, no transforma ni modifica de manera sustantiva las relaciones de poder existentes en el área.

Es conveniente resaltar este último aspecto porque el proyecto PSA-H de la cuenca del río Gil González es considerado un modelo que orientará proyectos similares en otras áreas del departamento de Rivas. En la municipalidad de Tola, por ejemplo, el desarrollo turístico en gran escala ya está en marcha, y el uso del agua para consumo humano de las familias campesinas y para los cultivos agrícolas, compite con la demanda de la industria turística.

BIBLIOGRAFÍA

- Bulkeley, H. 2005. Reconfiguring environmental governance: Towards a politics of scales and networks. *Political Geography* 24(8):875-902.
- Costanza, R; D'Arge, R; De Groot, R; Farber, S; Grasso, M; Hannon, B; Limberg, K; Naeem, S; O'Neill, R; Paruelo, J; Raskin, R.G; Sutton, P; Van Den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Corbera, E; Brown, K; Adger, W.N. 2007. The equity and legitimacy of markets for ecosystem services. *Development and Change* 38(4):587-613.
- Fairhead, J; Leach, M. 2003. *Science, society and power: Environmental knowledge and policy in West Africa and the Caribbean*. Cambridge, United Kingdom.
- Gaventa, J. 2004. Towards participatory governance: assessing the transformative possibilities. In Hickey, S; Mohan, G. *Participation: From tyranny to transformation? Exploring new approaches to participation in development*. London, Zen Books.
- Grieg-Gran, M; Porras, I; Wunder, S. 2005. How can market mechanisms for forest environmental services help the poor? Preliminary lessons from Latin America. *World Development* 33(9):1511-1527.
- Hodge, G.A; Greve, C. 2007. Public-private partnerships: An international performance review. *Public Administration Review* 67(3):545-558.
- Jenkins, R. 2005. Globalization, corporate social responsibility and poverty. *International Affairs* 81(3):525-540.
- Larson, A. 2004. Formal decentralisation and the imperative of decentralisation 'from below': a case study of natural resource management in Nicaragua. *The European Journal of Development Research* 16(1):55-70.
- Larson, A.M; Ribot, J.C. 2004. Democratic decentralisation through a natural resource lens: an introduction. *European Journal of Development Research* 16(1):1-25.
- Li, T.M. 2005. Beyond the state and failed schemes. *American Anthropologist* 107(3):383-394.
- McAfee, K; Shapiro, E.N. 2010. Payments for ecosystem services in Mexico: Nature, neoliberalism, social movements, and the State. *Annals of the Association of American Geographers* 100(3):579-599.
- Miraftab, F. 2004. Public-private partnerships. *Journal of Planning Education and Research* 24(1):89-101.
- Mitchell-Weaver, C; Manning, B. 1991. Public-private partnerships in third world development: A conceptual overview. *Studies in Comparative International Development (SCID)* 26(4):45-67.
- Newell, P. 2005. Citizenship, accountability and community: the limits of the CSR agenda. *International Affairs* 81(3):541-557.
- Nygren, A. 2005. Community-based forest management within the context of institutional decentralization in Honduras. *World Development* 33(4):639-655.
- O'Toole, D; Aguilar-Støen, M. 2013. *Ecología histórica de la ganadería y usos de la tierra asociados en Muy Muy y Belén, Nicaragua*. *Agroforestería en las Américas* no. 50:7-15.
- Pagiola, S; Arcenas, A; Platais, G. 2005. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Development* 33(2):237-253.
- World Bank. 2001. *Making markets work better for poor people*. World Development Report 2000/2001: Attacking poverty. Washington D.C., World Bank. p. 61-72.
- Wunder, S. 2005. Payments for environmental services: some nuts and bolts. Bogor, Indonesia, CIFOR. Occasional Paper no. 42. 32 p.
- Zimmerer, K.S. 2011. Conservation booms with agricultural growth? Sustainability and shifting environmental governance in Latin America, 1985-2008 (Mexico, Costa Rica, Brazil, Peru, Bolivia). *Latin American Research Review* 46 (special issue):82-114.

¿Cómo hacerlo?

¿Cómo incrementar la multifuncionalidad en potreros?

Dalia Sánchez¹, Graciela M. Rusch², Cristóbal Villanueva¹, David Barton², Álvaro Salazar¹

RESUMEN

En las zonas ganaderas de Nicaragua hay un interés creciente de los productores por retener y manejar árboles en potreros (árboles dispersos y cercas vivas). Es recomendable que el productor considere la importancia de la multifuncionalidad, entendida como la combinación de varias especies con características diferentes para proveer una variedad de recursos adicionales. La multifuncionalidad brinda una mayor resiliencia al sistema productivo al amortiguar variaciones del clima y también del mercado. Por ejemplo, algunas especies de árboles pueden proveer forraje o frutos en momentos de baja producción de pasto, así como brindar material de carpintería y leña. Los proyectos FunciTree y Silpas han explorado las distintas capacidades de varias especies leñosas, sus características, las funciones en el sistema silvopastoril de la finca y el grado de preferencia por los productores. Este estudio pretende el incremento de la multifuncionalidad en los potreros para mejorar la oferta de bienes y servicios al productor. Mediante un estudio de caso se demuestra el incremento de árboles de distintas especies en potreros como una opción para lograr mayores beneficios de las funciones de las especies a lo largo del año.

Palabras claves: Trópico seco, Nicaragua, árboles, características, funciones, sistemas silvopastoriles.

ABSTRACT

Multi-functionality for cattle ranching in Nicaragua

In Nicaragua's cattle ranching regions there is a growing interest among cattle farmers in retaining and managing trees in pastures (both individual trees and live fences). Cattle farmers are advised to consider multi-functionality the combination of various species with different characteristics that provide a variety of additional resources and bring increased resilience to the productive system by cushioning variations in both climate and market. For example, some tree species can provide forage and fruit during periods of low pasture production, as well as inputs for carpentry and fuelwood. FunciTree and Silpas projects have explored the different dimensions of various woody species, including characteristics, functions within silvopastoral farm systems and farmer's preference. This study seeks to increase multi-functionality in pastures through knowledge of trees, their characteristics and their functions on farms, to ameliorate the range of goods and services for the producer. A case study showed that an increase in diverse trees species in pastures led to a diversity of functions for increased benefits all year long.

Keywords: Dry tropics, Nicaragua, trees, characteristics, functions, silvopastoral systems.

INTRODUCCIÓN

Para los pequeños, medianos y grandes productores ganaderos en el Pacífico seco de Nicaragua, la forma menos costosa de alimentar su ganado es el pastoreo directo en potreros, los cuales albergan árboles y arbus-tos producto de la regeneración natural, con arreglos espaciales como árboles aislados, en grupos y cercas vivas. Las especies herbáceas de los potreros forman asociaciones de especies nativas y exóticas naturalizadas de pastos y hierbas, asociadas con plántulas de especies leñosas. Los pastos de los géneros *Paspalum* y *Axonopus* son las especies dominantes en la zona ganadera de Nicaragua (Ospina *et al.* 2009, Morales *et al.* 2013).

Durante la época seca, la producción de las herbáceas se detiene casi completamente (Ospina *et al.* 2012, Zapata *et al.* 2013); entonces, para hacer frente al problema, se requieren estrategias para estabilizar la oferta forrajera a lo largo de todo el año. Las experiencias y conocimientos obtenidos por CATIE en Nicaragua y en otras zonas de Centroamérica muestran que los árboles en potreros de fincas ganaderas suplen a los productores con una extensa gama de bienes y servicios; entre ellos, leña, postes para cerca, madera, follaje, frutos para la alimentación del ganado y humana, sombra para ganado. Sin embargo, los productores conceden especial impor-

1 Programa Ganadería y Manejo del Medio Ambiente, CATIE. Correo electrónico: dsanchez@catie.ac.cr; cvillanu@catie.ac.cr; asalazar@catie.ac.cr

2 Norwegian Institute for Nature Research (NINA). Correo electrónico: graciela.rusch@nina.no

tancia a un grupo reducido de especies que cumplen con alguna de las funciones mencionadas (leña, madera, frutos). Recientemente, los proyectos FunciTree (Marco Ecológico para Sistemas Agroforestales Sustentables en Paisajes Semihúmedos) y Silpas (Los Árboles como Motores del Funcionamiento de los Sistemas Silvopastoriles en el Neotrópico) se han enfocado en las características (atributos o rasgos) de los árboles y el papel que desempeñan esos atributos para incrementar la **multifuncionalidad** en sistemas silvopastoriles. El concepto de multifuncionalidad en FunciTree se refiere a la combinación de características de distintas especies que tienen roles productivos complementarios y que, en conjunto, resultan en una mayor diversificación de alternativas productivas para enfrentar las fluctuaciones climáticas entre años y la estacionalidad de los mercados.

Con este artículo se busca ofrecer mecanismos que permitan mejorar la multifuncionalidad en los potreros mediante el conocimiento ya existente acerca de los árboles y de las características que inciden en las funciones de la finca, los intereses productivos de los productores y los usos de los árboles.

Árboles y características asociadas a sus funciones en la finca

El mantenimiento y/o aumento en la cantidad de árboles en finca representa una opción viable, desde el punto de vista económico y técnico, para cumplir funciones como la producción de madera, postes, leña, productos medicinales y alimento para la familia y el ganado. Los árboles, además, proveen una serie de beneficios no

económicos como la belleza escénica y otros beneficios públicos como la conservación de la biodiversidad y el secuestro de carbono. Para cumplir con funciones específicas, los árboles deben tener ciertas características; entre las más deseables está el uso de especies nativas adaptadas a las condiciones ecológicas de la zona (Rivas 2003, Esquivel *et al.* 2003).

Estudios recientes sobre el conocimiento local en las zonas ganaderas de Nicaragua han demostrado el interés creciente de los productores por retener y manejar árboles dispersos en potreros y en cercas vivas (Mosquera 2010, Joya *et al.* 2004, Martínez 2003). Las especies preferidas son las maderables, las que proporcionan leña y postes, y las que proveen frutos y forraje para el ganado. A partir de este conocimiento se han descrito cinco funciones asociadas a sus características e interés en la finca: producción de leña, madera, sombra para ganado, nutrición bovina, protección de fuentes de agua y conservación de biodiversidad. Además, se evaluó el grado de multifuncionalidad de los potreros y formas para incrementarla, por lo general, la cobertura arbórea en potreros está conformada por menos de diez especies que representan más del 70% de las especies de árboles dispersos.

Árboles para leña.- Como se detalla en la Figura 1, los productores reconocen dos tipos de leña según características de la madera.

Árboles para madera.- En el Cuadro 1 se detallan las características buscadas por los productores para la selección de especies madereras en sus fincas.

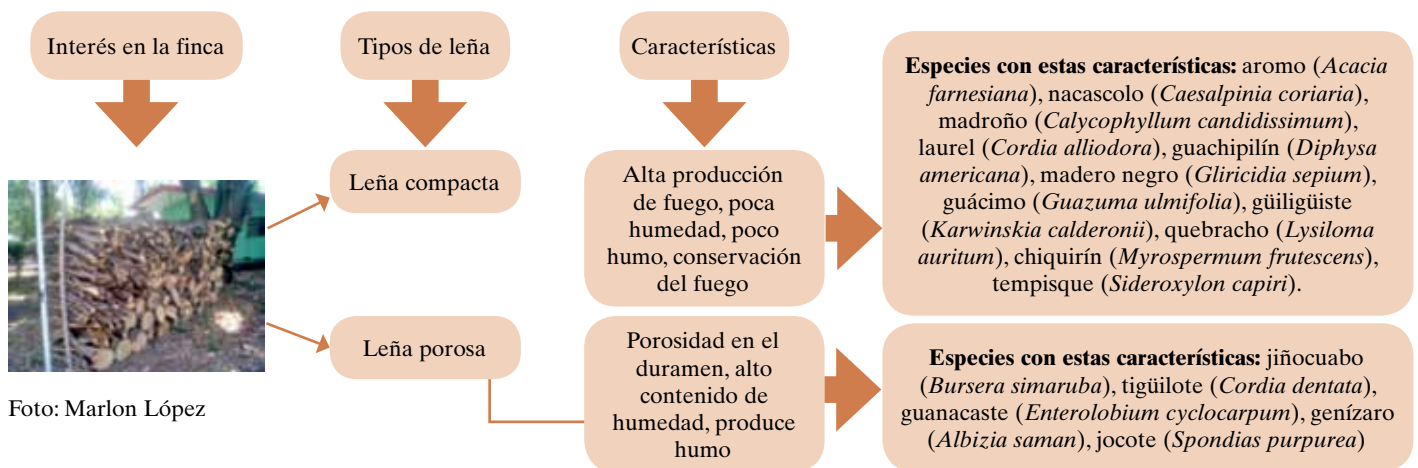


Figura 1. Características de especies arbóreas usadas como leña en el Pacífico seco de Nicaragua

Fuentes: Mosquera (2010), Joya *et al.* (2004), Cordero y Boshier (2003), Martínez (2003).

Cuadro 1. Características de los árboles para madera en el Pacífico seco de Nicaragua

Tipo de madera	Características	Especies de interés	Usos
Maderas duras	Madera densa y pesada, bajo contenido de humedad, resistente al ataque de polillas	Gallinazo (<i>Albizia niopoides</i>)	mangos de herramientas, carretas, pisos, postes
		Almendro (<i>Andira inermis</i>)	postes, ruedas de carreta, mangos de herramientas
		Quitacalzón (<i>Astronium graveolens</i>)	pilares, vigas para sostener techo, puertas
		Nacascolo (<i>Caesalpinia coriaria</i>)	postes de cercas, vigas y horcones
		Madroño (<i>Caesalpinia candidissimum</i>)	postes, mangos de herramientas
		Laurel (<i>Cordia alliodora</i>) moderadamente dura	puertas, marcos de ventana
		Ñambar (<i>Dalbergia retusa</i>)	ebanistería, mangos de herramientas
		Guachipilín (<i>Dalbergia americana</i>)	ejes de carreta, trompos, carpintería y ebanistería en general
		Madero negro (<i>Gliricidia sepium</i>)	aserrío
		Guapinol (<i>Hymenaea courbaril</i>)	muebles de lujo, artesanías, mangos de herramientas
		Guiligiüiste (<i>Karwinskia calderonii</i>)	horcones, postes, pilones
		Tempisque (<i>Sideroxylon capiri</i>)	construcción interna
		Maderas blandas	Madera de densidad baja, alto contenido de humedad, propensa al ataque de polillas
Genízaro (<i>Albizia saman</i>)	muebles		
Espavel (<i>Anacardium excelsum</i>)	construcción de interiores		
Pochote (<i>Pachira quinata</i>)	marcos de puertas y ventanas, muebles		
Cedro (<i>Cedrela odorata</i>)	construcción, muebles,		
Tigüilote (<i>Cordia dentata</i>)	postes		
Guanacaste (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	acabados interiores		
Guácimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	construcción rural, mangos de herramientas		
Aceituno (<i>Simarouba amara</i>)	muebles		
Roble (<i>Tabebuia rosea</i>)	muebles, construcción liviana		

Fuentes: Mosquera (2010), Joya *et al.* (2004), Cordero y Boshier (2003), Martínez (2003).

Sombra para ganado y nutrición bovina.- En el trópico seco de América Central, la época seca suele tener una duración de 4-6 meses, durante los cuales los pastos cesan su producción. Para la alimentación de los animales en estos meses se recurre a recursos externos (generalmente concentrados o subproductos de la agroindustria, como melaza, pacas de heno, semolina de arroz) y recursos locales, como el follaje y frutos de árboles. Muchos productores han decidido mantener algunos árboles en los potreros para aprovisionarse de frutos que complementen la alimentación en la época seca. Sin embargo, la fenología del fruto es distinta en las especies leñosas; esto revela la importancia de mantener una mayor diversidad de especies en potreros para cumplir con un mismo servicio (nutrición animal) a lo largo de la época seca.

Un estudio en el trópico seco de Costa Rica seleccionó las especies leñosas más comunes en potreros que producen frutos para la alimentación del ganado: *Acrocomia aculeata*, *Guazuma ulmifolia*, *Samanea saman*, *Enterolobium cyclocarpum* (Esquivel 2007). Las especies presentaron una producción de frutos en distintos momentos a lo largo del período seco: A.

aculeata (coyol) al inicio, *G. ulmifolia* (guácimo) y *S. saman* (genízaro) en la parte media y *E. cyclocarpum* (guanacaste) en la parte final (Figura 2). Esto refleja la importancia de la diversidad de especies en potreros para mejorar la oferta de recursos alimenticios para el ganado y para mantener e incrementar la producción animal según la dieta base a que tienen acceso.

Los árboles en los potreros brindan sombra y confort al ganado, ya que ayudan a reducir el estrés calórico principalmente durante la época seca. Sin embargo, no todos los árboles tienen el mismo efecto para reducir la temperatura debido a características de la forma de copa y tamaño de hojas (Cuadro 2); entonces, si se manejan distintas especies se logra diversificar los beneficios en la finca (García Cruz e Ibrahim 2013).

Las especies arbóreas que tienen función forrajera podrían ser una alternativa tecnológica para incrementar la multifuncionalidad en los potreros, ya que pueden contribuir a aumentar la disponibilidad y calidad del forraje para mitigar el impacto de la época seca (Lombo 2012, Pérez 2011). En la Figura 3 se resumen las principales

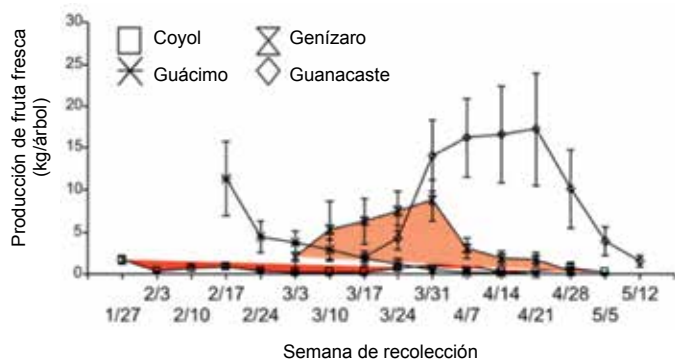


Figura 2. Disponibilidad de frutos de diversas especies en potreros del trópico seco de Costa Rica

Fuente: Esquivel (2007)

características que deben tener las especies para proveer de sombra y nutrición a los animales en fincas ganaderas.

Protección de fuentes de agua y conservación de biodiversidad.-

Las fincas ganaderas que tienen una combinación de árboles de distintas especies proveen recursos adicionales como la protección de las fuentes de agua y la conservación de la biodiversidad. Los árboles protectores de fuentes de agua en las fincas son de gran importancia para mantener las reservas en los mantos freáticos, asegurar la provisión de agua y aumentar la captación de agua por el suelo y subsuelo. Para la vida silvestre, los árboles en potreros son fuentes de alimento,

Cuadro 2. Reducción de la temperatura ambiente en el Pacífico seco de Nicaragua bajo cinco especies arbóreas

Especie	Temperatura ambiente (°C)		
	A pleno sol	Bajo la copa	Diferencia
<i>Byrsonima crassifolia</i> (nancite)	33	30	-3,0
<i>Pithecelobium dulce</i> (espino blanco)	35	32,3	-2,7
<i>Coccoloba caracasana</i> (papalón)	35	32,3	-2,7
<i>Guazuma ulmifolia</i> (guácimo)	35	33,5	-1,5
<i>Gliricidia sepium</i> (madero negro)	32	30,7	-1,3

Fuente: García Cruz (2010).

refugio y sitios de nidificación (Ibrahim *et al.* 2001). La Figura 4 presenta alguna de las características de las especies arbóreas para las funciones de protección de fuentes de agua y conservación de la biodiversidad.

¿Cómo incrementar la multifuncionalidad en los potreros?

La multifuncionalidad puede mejorar en los potreros si: 1) se aumenta la densidad de árboles en cercas vivas,

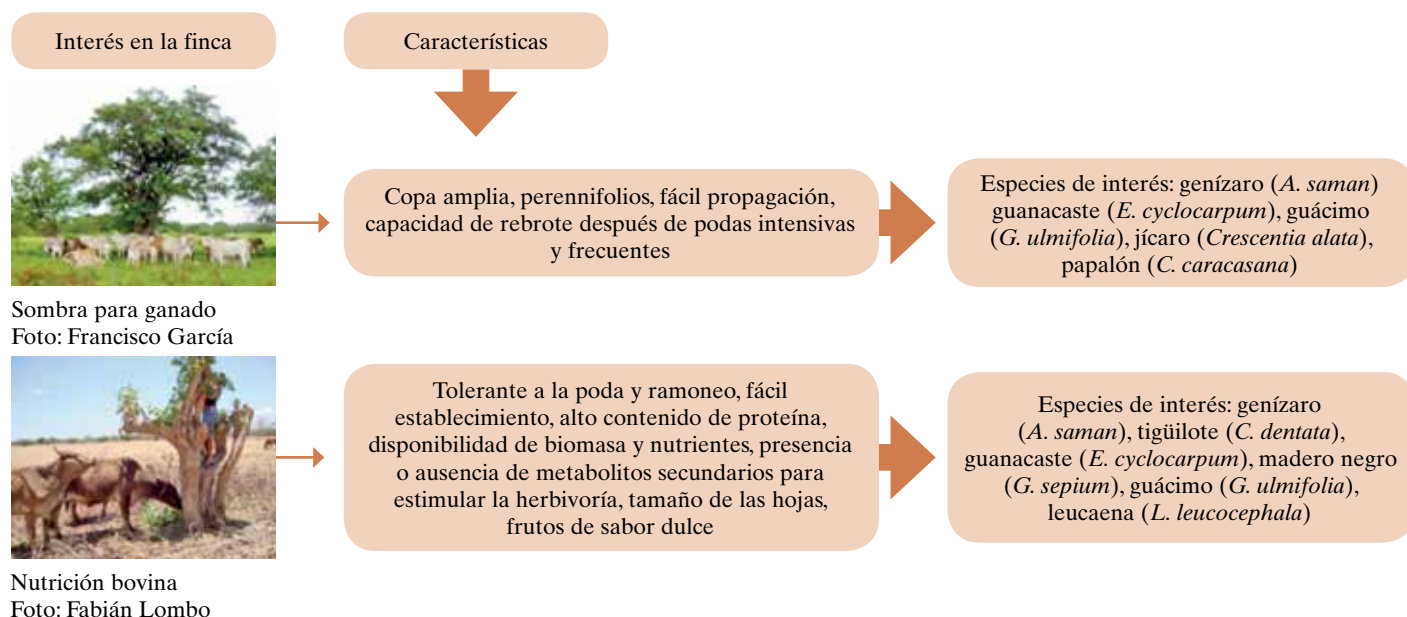


Figura 3. Características de las especies arbóreas aptas para la nutrición bovina y sombra para ganado en el Pacífico seco de Nicaragua

Fuente: Ramírez (2012), Pérez (2011), García (2010), Mosquera (2010), Cordero y Boshier (2003)

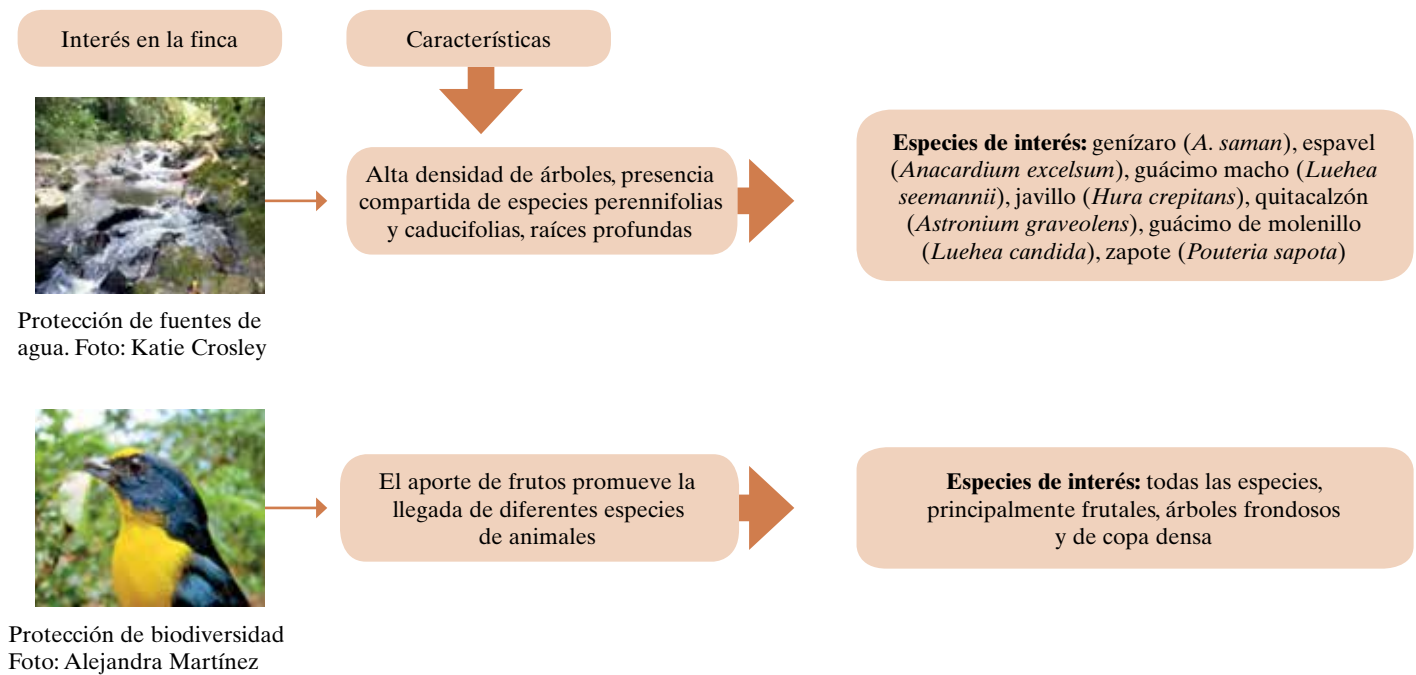


Figura 4. Características de las especies para protección de fuentes de agua y conservación de biodiversidad en el Pacífico seco de Nicaragua

Fuentes: Chávez (2010), Mosquera (2010), Cordero y Boshier (2003)

para no afectar la producción de pastos; 2) se aumenta la diversidad de especies que se complementen en la generación de servicios; 3) se emplean prácticas de manejo silvicultural que consideren el tipo de árbol, sus rasgos o características, arreglos y densidades. Cajas y Sinclair (2001) señalan que la fenología de los árboles tiene mucha importancia en el diseño de mezclas de especies en sistemas silvopastoriles para proporcionar sombra, forraje y vainas o frutos de alta calidad en épocas de escasez de alimento para el ganado. Según Salazar (2012) y Mosquera (2010), los productores determinan, de manera empírica, cómo las características de un árbol se relacionan con su capacidad de proveer beneficios. Estas características son importantes en la toma de decisiones sobre el manejo de los árboles.

Estudio de caso: sistema silvopastoril multifuncional en la finca del productor Martín Mena de la comunidad de Cantimplora, Belén, Rivas

La finca evaluada con este estudio de caso se encuentra en la región Pacífica de Nicaragua, donde se presentan dos estaciones climáticas: una estación seca de noviembre a abril y una de lluvias de mayo a octubre (Ineter 2000). El paisaje es principalmente de uso ganadero y más del 50% de la cobertura arbórea resulta de los árboles dispersos en potreros y cercas vivas (Figura 5).

El sistema silvopastoril multifuncional evaluado fue un banco forrajero biodiverso de corte y acarreo, el cual combina árboles dispersos de regeneración natural y las especies cratilia (*Cratylia argentea*) y madero negro (*Gliricidia sepium*). Para el establecimiento del banco forrajero se seleccionó un área de 0,7 ha (7000 m²), distribuida equitativamente entre madero negro y cratilia (3500 m² c/u). La selección y el diseño se hicieron de manera conjunta con el productor, según los beneficios que él deseaba potenciar en su finca. Este proceso brindó la oportunidad de fomentar la capacidad del productor para tomar sus propias decisiones y adaptar la información a sus necesidades (Rivas 2003). Los beneficios perseguidos por el productor eran la provisión de forraje para la época seca, frutos para la alimentación humana, leña y madera.

Criterios tomados en cuenta para el establecimiento del sistema

Ubicación: la parcela se ubicó cerca al corral de manejo y alimentación del ganado, con la finalidad de mejorar la eficiencia de la mano de obra para corte, acarreo, transporte, picado y ofrecimiento del alimento al ganado y, además, facilitar el transporte del estiércol del corral hacia el banco.

Finalidad: producción de forraje de alta calidad (alto contenido de proteína y de digestibilidad *in vitro* de la materia seca) como suplemento alimenticio para el ganado en la época seca, especialmente para las vacas en producción de leche. La dieta base consiste de pasto y forraje de gramíneas de corte y acarreo; ambos ya existen en la finca. La producción de leña se pensó en las especies arbóreas que se encuentran dispersas en el banco y en la cerca viva. Para la producción de frutos se tienen especies de cítricos y jocote y para madera, el roble.

Características de las especies forrajeras: cratilia y madero negro se seleccionaron por su adaptabilidad a zonas de trópico seco, capacidad de rebrote durante el período seco, producción de abundantes semillas y rápido establecimiento.

Componente arbóreo: la parcela tenía una riqueza de 12 especies y una densidad de árboles dispersos de 37 árboles/ha y 22,65 árboles/100 metros lineales de cerca viva. La mayoría de especies leñosas en ambos arreglos proceden de la regeneración natural; sin embargo, en las cercas vivas algunas especies han sido establecidas por medio de estacones (*C. dentata* y *S. purpurea*). El productor priorizó la incorporación de diez plantones de limón (*Citrus limon*) y diez de naranja (*C. sinensis*), diez estacones de *C. dentata* y diez de *S. purpurea*, para aumentar la cobertura arbórea del banco forrajero de leñosas en la cerca viva. La cercanía de la parcela a la vivienda familiar fue la razón para incorporar frutales; los estacones se escogieron por la capacidad de establecimiento vegetativo de las especies. El productor prefiere manejar la regeneración natural dentro de la parcela por medio de limpieza y raleos.

Tipos de copas priorizadas: el productor escogió especies con copa grande, como el gallinazo (*A. niopoides*) como árbol disperso en el banco, combinado con especies de copa mediana (*C. dentata*) y pequeña (*S. purpurea*) en la cerca viva. Este diseño permite la entrada de luz a la vegetación herbácea.

Tipos de especies leñosas deseadas: en un sistema silvopastoril multifuncional de banco forrajero de leñosas, las especies que se encuentran como árboles dispersos y las cercas vivas cumplen funciones para la producción de maderables (madera y postes para construcción), leña, sombra, frutos y forraje para el ganado. Estas son las principales razones aducidas por el productor para mantener y establecer árboles



Figura 5. Cobertura arbórea en el paisaje de Belén. Fotos: Dalia Sánchez

en la finca. Entre los árboles dispersos sobresalen el roble (*T. rosea*) y el gallinazo (*A. niopoides*) para fines maderables, ambas de regeneración natural; en cercas vivas se han establecido por estacones el jocote (*S. purpurea*) y el tigüilote (*C. dentata*). La primera produce frutos para consumo humano, para el ganado y la vida silvestre, y la segunda produce leña y forraje para el ganado en la época seca.

Riesgos para la adopción: la necesidad de capital y de mano de obra, el tiempo de espera relativamente largo desde el establecimiento y las lluvias erráticas a lo largo del año.

Estrategia de extensión: esta parcela es representativa de las condiciones enfrentadas por los productores de la zona; por eso podrá utilizarse como sitio demostrativo para generar motivación entre los productores vecinos y como centro de intercambio con instituciones públicas de la zona y las universidades. Los vecinos y grupos de productores han ido conociendo el proceso del establecimiento, manejo y utilización del sistema silvopastoril, lo cual es determinante para lograr la adopción de la tecnología entre otros productores. Se requiere, no obstante, un seguimiento por parte de instituciones locales para ayudar con las dudas en las fincas y la replicación sostenible en el tiempo.

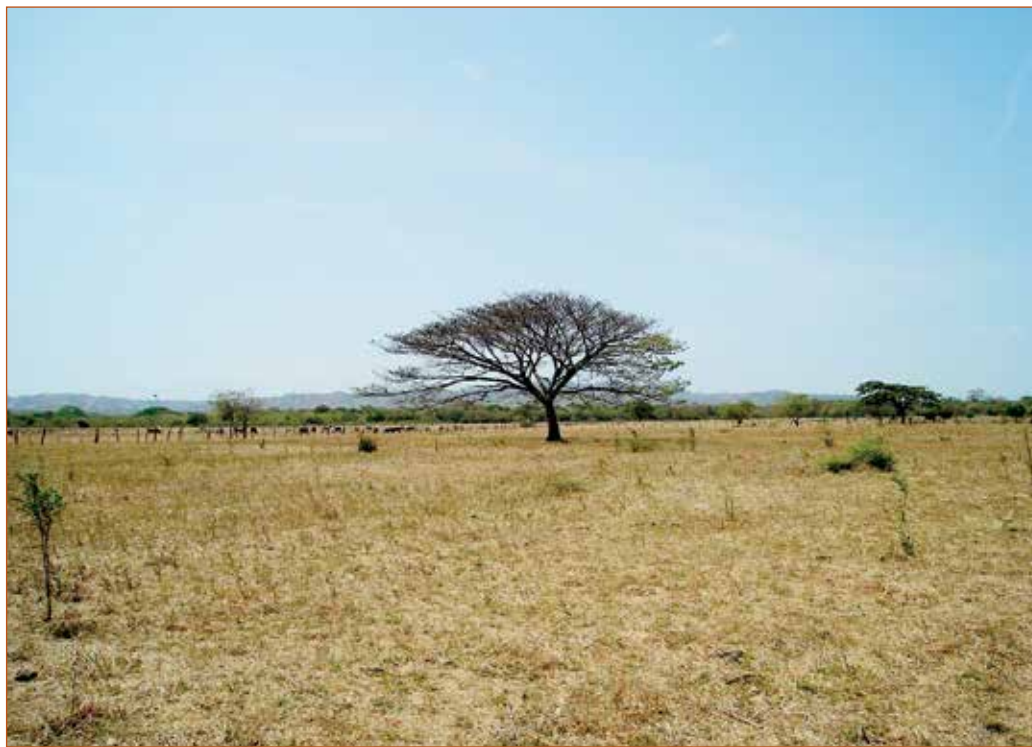
Lecciones aprendidas: el incremento en la cantidad de árboles en potreros es una alternativa para lograr mayores beneficios a lo largo del año.

Si bien el proceso de adopción es lento y gradual, los productores reconocen el valor de los árboles y los servicios que ofrecen en la finca.

BIBLIOGRAFÍA

- Cajas, YS; Sinclair, F. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. *Agroforestry Systems* 53: 215–225.
- Chávez, W. 2010. Diversidad funcional y capacidad de amortiguamiento de los bosques ribereños de la subcuenca Gil González, departamento Rivas, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 160 p.
- Cordero, J; Boshier, D. (Eds.). 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, United Kingdom, OFI/CATIE. 1080 p.
- Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 161 p.
- Esquivel, H; Ibrahim, M; Harvey, CA; Villanueva, C; Benjamin, T; Sinclair, F. 2003. Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 24-29.
- García Cruz, F. 2010. Efecto de la cobertura arbórea en potreros y el estado de lactancia, sobre el comportamiento diurno de ganado doble propósito manejado bajo pastoreo en el trópico sub-húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 115 p.
- García Cruz, F; Ibrahim, M. 2013. Los árboles en los potreros para la reducción del estrés calórico del ganado en los trópicos. *In* Sánchez, D; Villanueva, C; Rusch, GM; Ibrahim, M; DeClerck, F. Estado del recurso arbóreo en fincas ganaderas y su contribución en la sostenibilidad de la producción en Rivas, Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie técnica/ Boletín técnico No. 60. p. 36-41.
- Ibrahim, M; Schlönvoigt, A; Camargo, JC; Souza, M. 2001. Multistrata silvopastoral systems for increasing productivity and conservation of natural resources in Central America. *In* Gomide, JA; Mattos, WRS; da Silva, SC. (Eds). International grassland congress; proceedings (19, Piracicaba, Brazil; 11-21 February 2001). p. 645-650.
- Ineter (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2000. Zonificación de la III y IV región. Informe de Campo. Managua, Nicaragua. 18 p.
- Joya, M; López, M; Gómez, R; Harvey, CA. 2004. Conocimiento local sobre el uso y manejo de árboles en fincas ganaderas del municipio de Belén, Rivas. *Encuentro* 36(68): 44-59.
- Lombo, D. 2012. Evaluación de la disponibilidad de forraje y capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 87 p.
- Martínez, JL. 2003. Conocimiento local de productores ganaderos sobre cobertura arbórea en la parte baja de la cuenca del Río Bulbul en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 158 p.
- Morales, J; Rusch, GM; Casanoves, F; Söderström, L; Rocha, L. 2013. Composición florística de pastizales en Muy Muy y Rivas, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* no. 50:16-29.
- Mosquera, D. 2010. Conocimiento local sobre bienes y servicios de especies arbóreas y arbustivas en sistemas de producción ganadera de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 146 p.
- Ospina, S; Rusch, GM; Pezo, D; Casanoves, F; Sinclair, FL. 2012. More stable productivity of semi natural grasslands than sown pastures in a seasonally dry climate. *PLoS ONE* 7(5): e35555. doi:10.1371/journal.pone.0035555
- Ospina, S; Rusch, GM; Ibrahim, M; Finegan, B; Casanoves, F. 2009. Composición de los pastizales seminaturales en el sistema silvopastoril de Muy Muy, Nicaragua. *Revista Agroforestería en las Américas* No. 47: 68-75.
- Pérez, N. 2011. Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el Departamento de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 126 p.
- Ramírez, I. 2012. Efecto de la cobertura arbórea sobre el movimiento, comportamiento y preferencia de árboles por vacas lecheras en Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 53 p.
- Rivas, CA. 2003. Guías de uso para el extensionista. *In* Cordero, J; Boshier, DH. (Eds). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, United Kingdom, OFI/CATIE. p. 9-50.
- Salazar, A. 2012. Modelo experto para el análisis de la adopción de árboles en pasturas del trópico seco de Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 101 p.
- Zapata, PC; Rusch, GM; Ibrahim, M; DeClerck, F; Casanoves, F; Beer, J. 2013. Influencia de los árboles en la vegetación herbácea de sistemas ganaderos del trópico seco de Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* no. 50:30-36.

Galería de fotos



El agropaisaje del municipio de Belén, Rivas, Nicaragua, como otros del pacífico de Centroamérica, experimenta un periodo seco relativamente largo y cada vez con mayor variabilidad. En este periodo predominan usos de la tierra con baja cobertura arbórea, baja densidad de parches de bosques y disponibilidad de agua; los sistemas agropecuarios presentan bajos indicadores productivos y económicos que afectan los medios de vida de las familias rurales y la generación de servicios ecosistémicos. Foto: Fabrice DeClerck.



El equipo de investigación del proyecto FunciTtree enfocó sus estudios en el conocimiento local de los rasgos funcionales de los árboles y los servicios que generan en las fincas ganaderas. Además, se llevaron a cabo varias investigaciones científicas con distintas especies leñosas en potreros para conocer la relación de los rasgos funcionales con el uso de agua, la sombra y el consumo de follaje por el ganado. Este tipo de información es relevante para la construcción de un portafolio de especies de leñosas con distintos rasgos para el diseño de sistemas silvopastoriles multifuncionales con resiliencia al cambio climático y variabilidad. Foto: Fabrice DeClerck.



Vaca ramoneando un árbol de guácimo (*Guazuma ulmifolia*) durante la época seca, cuando la vegetación herbácea seminatural como las pasturas cesan su crecimiento y no hay oferta de forraje fresco. Sin embargo, en algunas fincas existen varias especies leñosas que mantienen su crecimiento en la época seca con potencial para proveer alimento (hojas y frutos).

Foto: Graciela M. Rusch.



Foto (a)



Foto (b)



Foto (c)

Árboles apreciados por la sombra que ofrecen al ganado, tanto en la época lluviosa como en la seca, en las fincas ganaderas de Belén, Rivas, Nicaragua. Este rasgo funcional de las leñosas contribuye a reducir el estrés calórico del ganado; además, pueden cumplir otras funciones como producción de frutos, madera y leña en el caso del guanacaste y guácimo.

Fotos (a) guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*); (b) guácimo (*Guazuma ulmifolia*); (c): papalón o papaturro (*Coccoloba caracasana*).

Fotos: (a) Graciela M. Rusch; (b y c) Francisco García.

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



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Para mayor información escríbanos a:

Agroforestería de las Américas

CATIE 7170

Turrialba, Costa Rica 30501

Costa Rica

Tel.: (506) 2558-2408

Fax: (506) 2558-2045

Correo electrónico: agrofor@catie.ac.cr