

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-

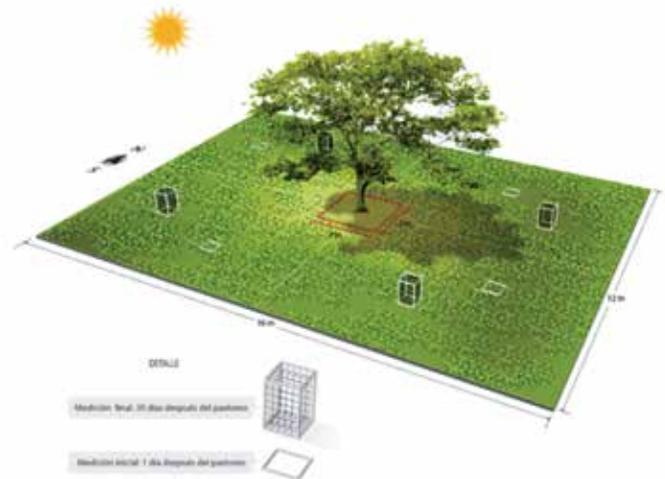


Figura 1. Parcela de muestreo para la evaluación de la productividad primaria neta aérea de pasturas bajo árboles en potreros

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

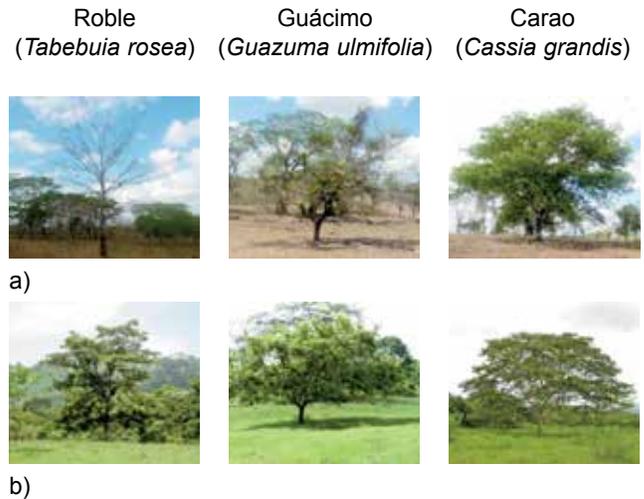


Figura 2. Cobertura de follaje de tres especies arbóreas evaluadas en potreros de Muy Muy y Matiguás, Nicaragua
a) Época seca (abril) b) Época lluviosa (julio)

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

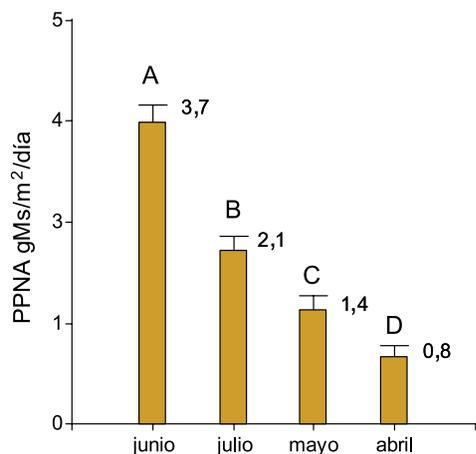


Figura 3. PPNA (gMs/m²/día) de pasturas naturales asociadas a tres especies de árboles

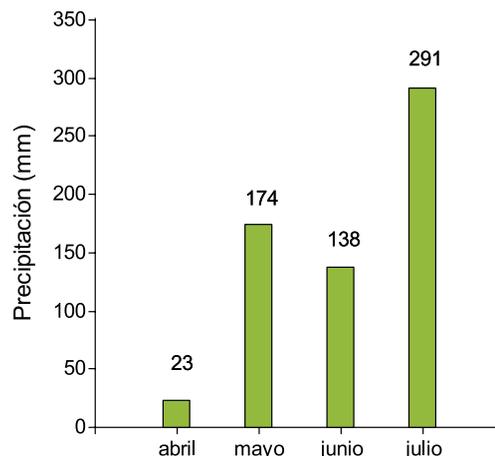


Figura 4. Precipitación en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua

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.

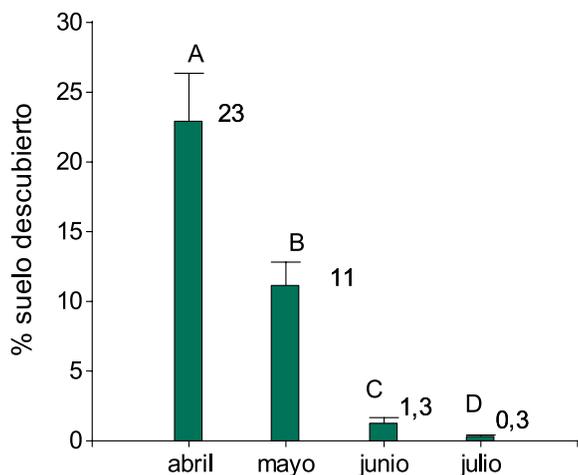


Figura 5. Suelo desnudo (%) en pasturas asociadas a tres especies de árboles en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua

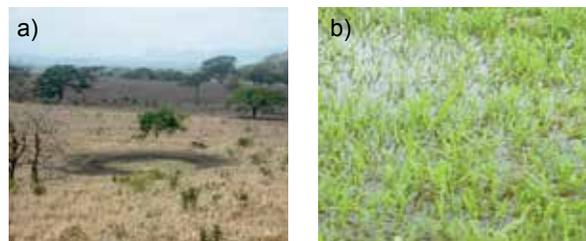


Figura 6. Cambios temporales de la pastura en el trópico seco de Nicaragua
a). Época seca b). Época lluviosa

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.

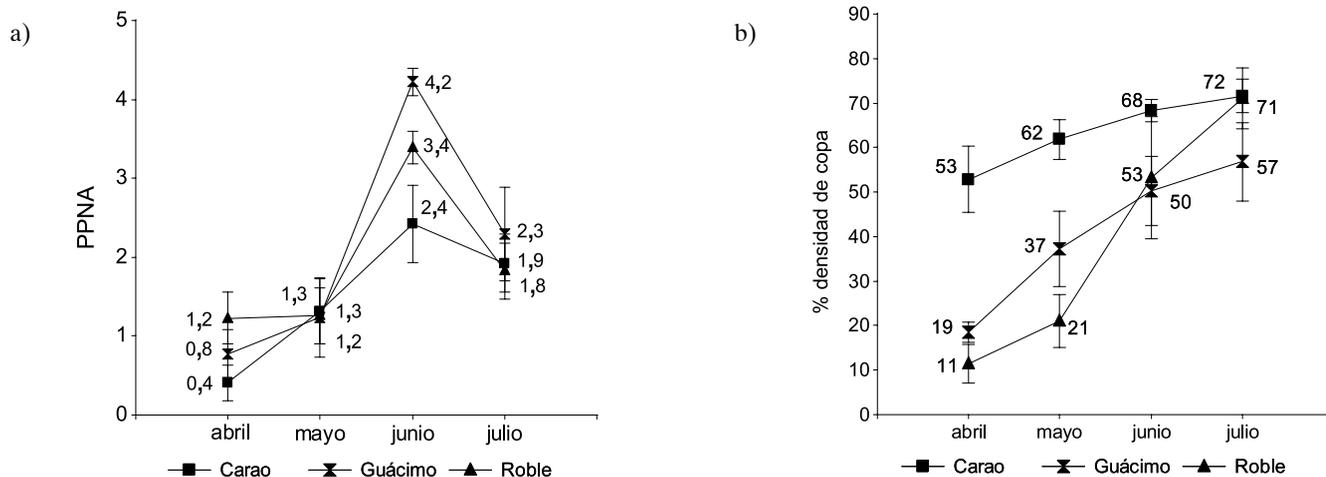


Figura 7. a) PPNA (gMs/M²/día) de pasturas bajo tres especies de árboles; b) Densidad de copa de tres especies de árboles en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua

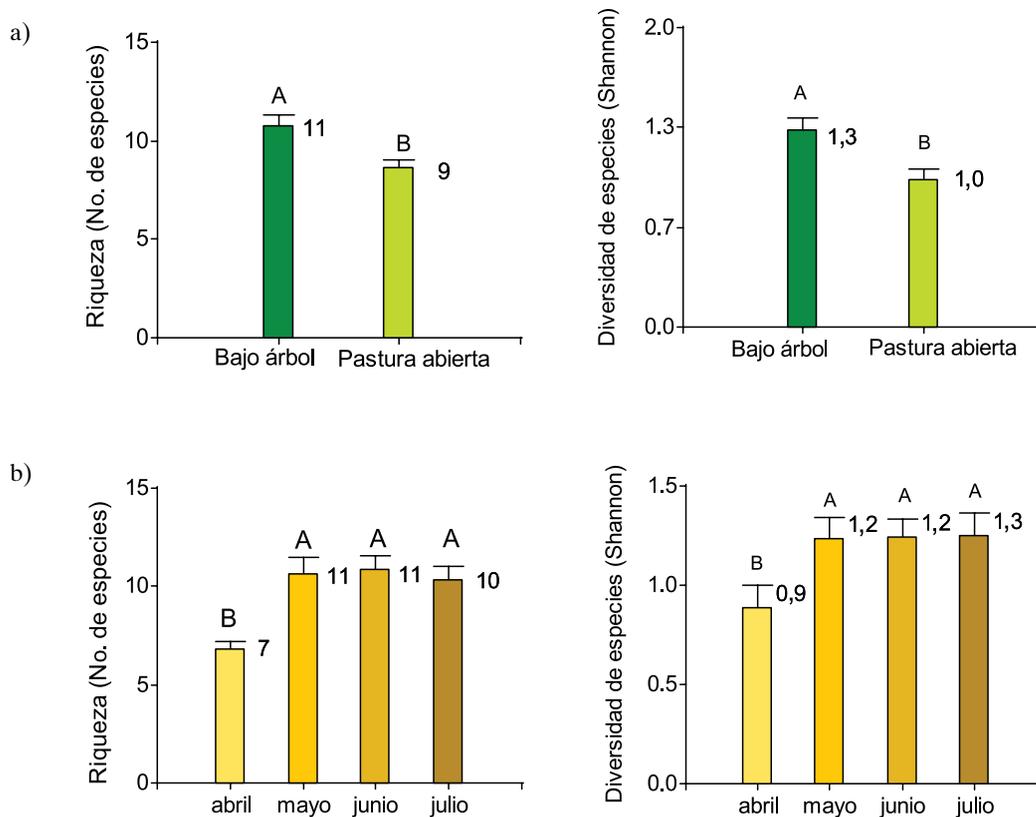


Figura 8. Riqueza y diversidad de especies herbáceas en pasturas asociadas con tres especies de árboles en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua: a) variación espacial, b) variación temporal.

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/m ² /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.