



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y  
ENSEÑANZA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

Evaluación de la disponibilidad de biomasa y capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en  
potreros del trópico seco de Nicaragua

Por  
DARWIN FABIÁN LOMBO ORTIZ

Tesis sometida a consideración de la escuela de posgrado como requisito  
para optar el por el grado de

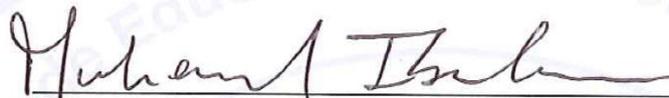
*Magister Scientiae* en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2012

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

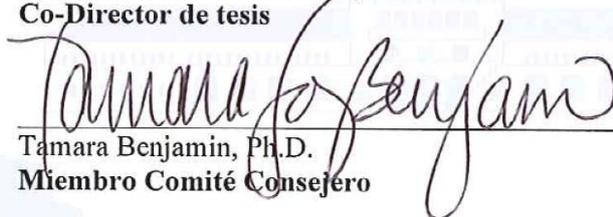
***MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL***

**FIRMANTES:**



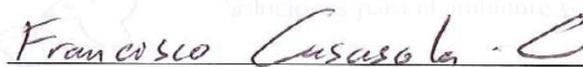
Muhammad Ibrahim, Ph.D.  
**Co-Director de tesis**

Cristóbal Villanueva, M.Sc.  
**Co-Director de tesis**

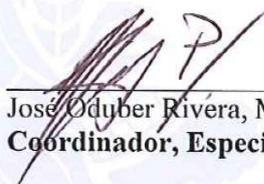


Tamara Benjamin, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

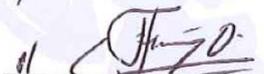
Christina Skarpe, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



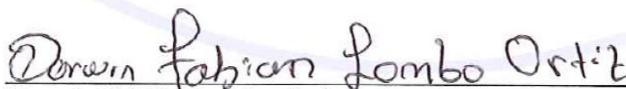
Francisco Casasola, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



José Oduber Rivera, M.Sc.  
**Coordinador, Especialización en Práctica para el Desarrollo**



I. Miley González, Ph.D.  
**Decano de la Escuela de Posgrado**



Darwin Fabián Lombo Ortiz  
**Candidato**

## DEDICATORIA

A Jehová mi Dios por su amor y misericordia,  
a mi madre por su esfuerzo y sacrificio,  
a mi hermana por su apoyo incondicional.

Espero te alivies pronto Mamá y seas la mujer  
con la misma energía de antes. Te amo mucho.

## AGRADECIMEINTOS

A Jehová mi Dios por colmar de bendiciones a mi familia y por su misericordia en mi vida.

A mi Profesor consejero **Muhammad Ibrahim** por darme la oportunidad de estudiar en el CATIE y enseñarme el camino a un mundo lleno de retos. Muchas gracias por su paciencia y apoyo.

A mi amigo y profesor consejero **Cristóbal Villanueva** por su amistad incondicional, su confianza en mí y por permitirme aprender a su lado.

A mi profesor **Fabrice De Clerck** por su confianza, su amabilidad y por supuestos por darme la oportunidad de estudiar en el CATIE.

A las profesoras miembros del comité **Tamara Benjamin y Christina Skarpe** por sus valiosos aportes en la consecución de esta investigación.

Al CATIE, al Proyecto FunciTree por su apoyo técnico, logístico y financiero para la realización de esta tesis y al excelente grupo GAMMA por su colaboración y apoyo durante este periodo académico.

A mis amigos en CATIE, Álvaro Trujillo, Gustavo Segura y Karlita, Juliana Miranda, Fernando Calle, Claudia Ocampo, Pilar Bucheli y Karlita por su compañía en momentos difíciles y alegrías.

A mis compañeros de trabajo en Nicaragua; Anniken Torset, Iván Ramírez, Marlon Sotelo, Álvaro Salazar y Dalia Sánchez.

A mis asistentes de campo José, Gerald, Israel, Oscar, Pedro, Will, Jeffry Obando.

Al grupo de trabajo en Biometría conformado por el profesor Fernando Casanoves, Sergio Vilchez y Eduardo (Matute).

Y finalmente a los productores que muy comedidamente me abrieron las puertas de su casa e hicieron posible la realización de esta investigación; Don Roberto, Silvio Rodríguez, la Ing. Francis, Carlos Castañeda, Apolinar Guevara, Leandro Guevara, José María Obando y Denis Inser, a la señora Juana, a don Sergio y don Abraham.

## **BIOGRAFÍA**

El autor nació en el municipio del Líbano, Departamento del Tolima. Se graduó como bachiller del Colegio San Antonio María Claret del Líbano Tolima. Realizo estudios universitarios en Ingeniería Forestal en la Universidad del Tolima (UT) en el 2008. Dentro de sus logros académicos recibió una matrícula de honor en el año 2004 por rendimiento académico, realizo su tesis de pregrado en el Municipio de Leticia capital del Departamento de la Amazonia mediante una beca de la fundación Tropenbos Internacional de los países Bajos en el 2006 y realizo su práctica universitaria en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) con el programa de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente (GAMMA) mediante la beca convenio UT y CATIE 2007. En el año 2010 ingreso a la maestría en Agroforestería Tropical y la Especialización en Prácticas del Desarrollo (EPD).

## CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| DEDICATORIA.....   | III  |
| AGRADECIMEINTOS.....   | IV   |
| BIOGRAFÍA .....  | V    |
| CONTENIDO.....   | VI   |
| RESUMEN.....   | VII  |
| SUMMARY .....  | XI   |
| ÍNDICE DE CUADROS .....  | XIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | XIV  |
| LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS .....   | XV   |
| 1. INTRODUCCIÓN .....  | 16   |
| 1.1 Objetivos del estudio .....  | 18   |
| 1.1.1 <i>Objetivo General</i> .....  | 18   |
| 1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....   | 18   |
| 1.2 Hipótesis del estudio.....   | 18   |
| 2. MARCO CONCEPTUAL.....   | 19   |
| 2.1 Caracterización de la producción ganadera de Nicaragua.....  | 19   |
| 2.2 Alimentación del ganado bovino y disponibilidad de forraje animal.....                                   | 19   |
| 2.3 Importancia nutricional de las forrajeras arbustivas en la alimentación animal..                         | 21   |
| 2.4 Factores que determinan la capacidad de rebrote en especies forrajeras arbóreas y arbustivas.....        | 22   |
| 2.5 Rasgos funcionales de las plantas como respuesta a la herbivoría y el funcionamiento del ecosistema..... | 25   |
| 2.6 Rasgos funcionales de las especies asociados a la capacidad de rebrote.....                              | 27   |
| 3. MATERIALES Y METODOS.....   | 31   |
| 3.1 Descripción del área de estudio .....  | 31   |
| 3.2 Selección de especies arbóreas en potrero con potencial forrajero.....                                   | 33   |
| 3.3 Selección de árboles en potrero con potencial forrajero.....   | 35   |
| 3.4 Tratamientos y diseño experimental .....   | 37   |
| 3.4.1 <i>Manejo de poda en arboles dispersos en potrero</i> .....  | 38   |
| 3.4.2 <i>Variables de medición</i> .....   | 39   |
| 4. RESULTADOS.....   | 42   |
| 4.1 Evaluación de la capacidad de rebrote de especies leñosas forrajeras en potrero                          | 42   |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.1 Curva acumulada de rebrotes por individuo para especies leñosas forrajeras en potrero .....  | 43 |
| 4.1.2 Distribución de rebrotes en especies leñosas forrajeras en potrero .....   | 44 |
| 4.1.3 Mortalidad de rebrotes para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua. ....  | 45 |
| 4.2 Evaluación de rasgos funcionales asociados a la capacidad de rebrote para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua .....    | 46 |
| 4.2.1 Rasgos funcionales en rebrotes para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua .....  | 46 |
| 4.2.2 Leaf intensity (hojeando intensidad) para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua .....                                  | 48 |
| 4.2.3 Relación masa de hojas individuales y Leaf intensity para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua .....                  | 49 |
| 4.2.4 Relación número de hojas y número ramas para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua .....                               | 50 |
| 4.3 Producción de biomasa para seis especies leñosas forrajeras en potrero del trópico seco de Rivas Nicaragua.....  | 51 |
| 4.3.1 Producción de biomasa total para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.....  | 52 |
| 4.3.2 Producción de biomasa comestible para seis especies leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Rivas Nicaragua.....                                    | 53 |
| 4.3.3 Proporción de masa foliar (PMF) para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.....  | 54 |
| 4.3.4 Relación Hoja – Tallo para la biomasa total en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua .....                             | 55 |
| 4.3.5 Porcentaje de fracciones fina y gruesa en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua .....                                  | 55 |
| 5. DISCUSIÓN.....  | 57 |
| 5.1 Rasgos funcionales asociados a la capacidad de rebrote en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.....                     | 57 |
| 5.2 Leaf intensity como rasgo funcional que explica la capacidad de rebrote para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua ..... | 60 |
| 5.3 Disponibilidad de biomasa para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.....  | 63 |
| 6. ANÁLISIS E IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO AL DESARROLLO DE LA GANADERÍA. ....  | 65 |

|  |    |
|--|----|
| 7. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LOS RESULTADOS PARA LA FORMACIÓN DE POLÍTICAS. .... | 68 |
| 8. CONCLUSIONES.....   | 70 |
| RECOMENDACIONES .....  | 72 |
| BIBLIOGRAFIA .....   | 74 |
| ANEXO .....  | 87 |

## RESUMEN

La disponibilidad de forraje en cantidad y calidad para alimentación de ganado es un reto en los países tropicales, la cual se ha deteriorado con las prolongadas sequías que se han venido acentuando en los últimos años. Esta situación obliga la generación de nuevas alternativas, de preferencia con recursos endógenos de la fincas. Por esta razón el propósito del presente estudio es conocer la capacidad de rebrote y los rasgos funcionales que explican la productividad de biomasa en seis especies forrajeras arbustivas en potrero del trópico seco de Nicaragua.

Se seleccionaron seis especies forrajeras arbustivas *Albizia saman*, *Albizia niopoides*, *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Pithecellobium dulce* en potreros, en el Municipio de Belén, Departamento de Rivas Nicaragua. Las especies referidas fueron seleccionadas tomando en cuenta los criterios de conocimiento local, pruebas de preferencia animal y abundancia de las especies en potreros. Se seleccionaron seis replicas por especie preferiblemente en un mismo potrero con diámetros a la altura (Dap) entre 10-30 cm con el propósito de reducir la variabilidad estadística. Para conocer la capacidad de rebrote y la disponibilidad de biomasa comestible los árboles fueron sometidos a una poda total a 2 m de altura sobre el nivel del suelo durante la segunda semana de abril hasta la última semana del mes de agosto por un periodo de cuatro meses, donde se realizaron conteos, marcación y registros mensuales de rebrotes y sus correspondientes rasgos funcionales; longitud (cm) diámetro de la base, medio y final (cm). Para el último mes se levantó información de los rebrotes; Área foliar (AF) y Área foliar específica (AFE). Además de la cosecha de rebrotes en fracciones finas (hojas y tallos < 5mm) y gruesa (hojas y tallos > 5mm) con el propósito de conocer la biomasa comestibles, además se tomaron muestras compuestas de cada fracción para determinar el contenido de materia seca.

El conjunto de especies mostraron diferentes capacidades de rebrote y productividad. La especie *Cordia dentata* y *Pithecellobium dulce* presentaron los mayores rendimientos de biomasa comestible por árbol  $5.95 \pm 1.43$  Kg MS y  $3.20 \pm 1.12$  Kg MS respectivamente mientras que la especie *Albizia niopoides* con  $0.53 \pm 0.14$  Kg MS presentó el rendimiento más bajo. Además se encontró una relación positiva entre la producción de ramitas adjuntas al tallo principal con respecto al número de hojas presentes en el rebrote  $R^2=0.93$  explicando la producción de yemas axiales en función al número de

hojas (Banco de meristemos). Se encontró que las especies con menor AF en sus rebrotes presentan mayor número de hojas proporcionando mayores reservas de meristemos que se traducen en mayor biomasa comestible. Finalmente las especies con mayor capacidad de rebrote y producción de biomasa se asocian con una menor AF, mientras que el AFE no fue un rasgo explicativo.

Las especies *Cordia dentata* y *Pithecellobium dulce* suponen un potencial para la alimentación de ganado en el Municipio de Belen, sin embargo es apresurado hacer recomendaciones, debido a que aun, no se conoce el efecto de podas prolongadas sobre la respuesta de los individuos. Es importante mencionar que la selección de especies forrajeras arbustivas requieren de criterios más amplios donde se consideren rasgos funcionales de las plantas que mejoren la plasticidad fenotípica de las especies, por ejemplo el tamaño de la hoja, la dureza de la hoja, la relación hoja – tallo dentro de las fracciones comestibles, rasgos nutricionales de las especies como proteína cruda (PC), fibra neutro detergente (FNA), fibra ácido detergente (FAD), lignina y taninos), reservas de carbohidratos en tallos, raíces finas y estructurales y finalmente los efectos de la poda en los diferentes niveles de manejo y estación climática.

Lombo. D. 2012. Evaluation the availability of biomass and woody regrowth capacity of pasture forage dry tropical Nicaragua. Thesis de Mag. Sc. Turrialba. CR. CATIE.87p

**Key words:** lateral buds, leaf area, leaf traits y meristems bank,

## SUMMARY

The quantity and quality of forage available to cattle is a challenge in dry tropical regions, which experience periods of prolonged annual droughts. This requires the generation of new forage alternatives, preferably based on resources endogenous to cattle farms. To contribute to the search for these resources we attempt to resprouting ability of six forage trees and shrubs and measure their functional traits associated with biomass productivity.

We focus on six species commonly found in Department of Rivas, Nicaragua: *Albizia saman*, *Albizia niopoides*, *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Pithecellobium dulce* and *Guazuma ulmilifolia*. These species were selected taking into account knowledge regarding species with the greatest potential, preference tests performed with livestock and abundance in pastures. We selected six replicates selected per species, preferably in the same paddock. Selected individuals had a diameter breast height (dbh) between 10-30 (cm) in order to reduce the statistical variability. To test resprouting the ability and the available edible biomass, we subjected the trees to full pruning at 2 m height above ground during the second week of April 2012. We took Measurement for four months, until the last week of August to measure new biomass produced during the dry season. We marked new sprouts on a monthly basis and measured four functional traits of the sprouts (1) length (cm), (2) diameter at the base, (3) middle and (4) end. During the last month of the study, we also measured leaf area (LA) and specific leaf area (SLA). At this time we also harvested the shoots to measure the fine (leaves and stems <5 mm) and coarse (leaves and stems > 5 mm) fractions in order to determine the edible biomass. Composite samples were taken from each fraction to determine the dry matter content.

The six species showed different resprouting capabilities and productivity after four months. *Cordia dentata* and *Pithecellobium dulce* had the highest yields of edible biomass per tree  $5.95 \pm 1.43$  Kg DM and  $3.20 \pm 1.12$  Kg DM respectively while *Albizia niopoides* presented the lowest yield with  $0.53 \pm 0.14$  Kg DM. We found a positive relationship between the productions of twigs attached to the main stem with

respect to the number of leaves on the new sprout ( $R^2 = 0.93$ ). This explained the production of axial buds in relation to the number of leaves (meristem bank). We found that species with lower LA in their shoots have more leaves, which provide greater reserves of meristems that are able to translate into more edible biomass. Finally those with high coping mechanisms to coppicing and biomass production are associated with lower LA, while the SLA was not an explanatory feature.

*Cordia dentata* and *Pithecellobium dulce* show potential for feeding livestock during the dry season, however, recommendations cannot be made because the effect of extended prunings on these species are not known. It is worth noting that the selection of forage shrubs needs broader criteria which consider plant functional traits that enhance the phenotypic plasticity of the species, such as leaf size, leaf toughness, leaf – stem fractions in edible nutritional traits of species such as crude protein (CP), neutral detergent fiber (FNA), acid detergent fiber (ADF), lignins and tannins), carbohydrate reserves in stems and, roots, and the structural the effects of pruning on the different levels of management and seasonal patterns.

## ÍNDICE DE CUADROS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| CUADRO 1. | Descripción de especies arbustivas forrajeras en potrero del trópico seco de Nicaragua.   | 35 |
| CUADRO 2. | Criterios biofísicos de potreros e individuos de especies arbustivas forrajera del trópico seco de Nicaragua.                           | 36 |
| CUADRO 3. | Correlaciones de rasgos de rebrotes para seis especie forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.                  | 46 |
| CUADRO 4. | Correlaciones de rasgos del árbol para seis especie forrajeras arbustivas en potrero del trópico seco de Nicaragua.                     | 51 |
| CUADRO 5. | Relación hoja – tallo (kgMS) para la biomasa total en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.    | 55 |
| CUADRO 6. | Porcentaje de fracciones (kgMS) para la biomasa total en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua. | 56 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| FIGURA 1.  | Ubicación geográfica municipio de belén, departamento de Rivas, Nicaragua.  | 31 |
| FIGURA 2.  | Distribución de precipitaciones y temperaturas anuales para los periodo 1971-2000, región de Rivas, Nicaragua.  | 32 |
| FIGURA 3.  | Ubicación de rebrotes según posición en el árbol para seis especies forrajeras arbustivas en potrero para el trópico seco Nicaragua   | 40 |
| FIGURA 4.  | Producción número de rebrotes por árbol para seis especies forrajeras arbustivas en potreros.   | 42 |
| FIGURA 5.  | Curva acumulada número de rebrotes por individuo para seis especies forrajeras arbustivas en potreros.  | 43 |
| FIGURA 6.  | Distribución del número de rebrotes por posición con respecto al árbol para seis especies forrajeras arbustivas en potreros.  | 44 |
| FIGURA 7.  | Porcentaje de mortalidad rebrotes/árbol para seis especies forrajeras arbustivas potreros.  | 45 |
| FIGURA 8.  | Rasgos funcionales de rebrotes asociados a la capacidad de regeneración para seis especies forrajeras arbustivas en potreros. (a) Volumen de rebrotes (cm <sup>3</sup> ) y (b) longitud de rebrotes (cm). | 47 |
| FIGURA 9.  | Rasgos funcionales de rebrotes asociados a la capacidad de rebrote para seis especies forrajeras arbustivas en potreros.  | 48 |
| FIGURA 10. | Leafing intensity (hojeando intensidad) para seis especies forrajeras arbustivas en potrero.  | 49 |
| FIGURA 11. | Relación entre la media de la masa de hojas individuales y (intensidad media hojeando) para seis especies forrajeras arbustivas en potreros.  | 50 |
| FIGURA 12. | Relación entre el número de hojas y número de ramas para seis especies forrajeras arbustivas en potreros  | 51 |
| FIGURA 13. | Producción de biomasa total para seis especies forrajeras arbustivas en potreros.   | 52 |
| FIGURA 14. | Producción de biomasa comestible para seis especies forrajeras arbustivas en potrero.   | 53 |
| FIGURA 15. | Proporción masa foliar para seis especies forrajeras arbustivas.  | 54 |

## LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

AB: Área Basal

AF: Área foliar

AFE: Área foliar específica

Alt: Altura Total

ANOVA: Análisis de Varianza

B: Primer tercio del árbol

°C: grados centígrados

cm: centímetros.

CMS: Contenido de Materia Seca

CNF: Concentración de Nitrógeno Foliar

CP: Contenido de Proteína

Dap: Diámetro a la Altura del Pecho

DC: Diámetro de Copa

gr: gramos

Ha: Hectárea

HF: Hojas Fracción Fina.

HG: Hojas Fracción Gruesa

Hr: Altura de Ramificación

I: Segundo tercio del árbol

Kg: Kilogramo

mg: miligramos

mm<sup>2</sup>: milímetros cuadrados

mz: manzana

MS: Materia Seca

Rbt: Rebrote

RGR Tasas de Crecimiento Relativo

RMS: Rendimientos de Materia seca Fracción

SSP: Sistemas Silvopastoriles

T: Tercer tercio del árbol

TF: Tallos Fracción Fina

TG: Tallos Fracción Gruesa

## 1. INTRODUCCIÓN

El forraje de especies arbóreas y arbustivas es considerado una alternativa de solución a la baja disponibilidad en calidad y cantidad de las pasturas naturalizadas durante los periodos secos, debido a mejores rendimientos de biomasa y altos contenidos de proteína (Pezo 1990; Sosa et ál. 2004), que optimizan la dieta (Petit 2003), la digestibilidad animal (Rubanza et ál. 2007; Sanona et ál. 2007), y el control de parásitos (Hoste et ál. 2006; Mueller y Harvey 2006) cubriendo finalmente los requerimientos nutricionales del ganado para mantener o mejorar su productividad durante los periodos secos (Turcios 2008; Pérez 2012).

Este conocimiento sobre el uso de forrajeras arbustivas es muy conocido (Barnes et al 1998, Mendoza et ál. 2000; Larbi et ál. 2001; Zamora et ál. 2001; Larbi et ál. 2005; Sanchez et ál. 2004), sin embargo, su aprovechamiento es limitado por los productores (Benavides 1993; Sosa et ál. 2004).

Diversos estudios alrededor del mundo mencionan la importancia de las especies forrajeras arbustivas en la alimentación animal, sin embargo, esta se basa, en un número reducido de especies leguminosas, entre las que se destacan *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* (Morales et ál. 1992; Stur et ál. 1994; Sakai y Sakai 1998; Barnes 1998 (a); Canham et ál. 1999; Latt et ál. 2000; Larbi et ál. 2000; García et ál. 2001; Sánchez et ál. 2001, López et ál. 2003, Kabeya y Sakai 2005; Larbi et ál. 2005), por lo que la búsqueda de nuevas especies con potencial forrajero es fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías en sistemas silvopastoriles (SSP) en el trópico seco (Larbi et ál. 2005).

La mayoría de los estudios realizados sobre estas especies forrajeras arbustivas, se centran de manera puntual sobre el manejo agronómico, composición química, pruebas de consumo y respuesta en producción animal (Barnes 1998 (a); Barnes 1998 (b); Latt et ál. 2000; García et ál. 2001) y su efecto sobre la productividad (García et ál. 2006; García et ál. 2008) y la digestibilidad animal (Larbi et ál. 2001; Larbi et ál. 2005, García et ál. 2008 (a); Gracia et ál. 2008 (b); García et ál. 2006.). Sin embargo estos

parámetros no parecen ser suficientes para determinar el potencial forrajero de las especies arbóreas y su capacidad de resiliencia a las perturbaciones en su entorno.

En este sentido estudios recientes en ecología funcional muestran las bondades de los rasgos funcionales foliares de las plantas; como área foliar (AF) y área foliar específica (AFE) sobre una amplia gama de características de la planta, como eficiencia fotosintética, tasas de crecimiento relativo, capacidad de rebrote, longevidad de la hoja y uso de recursos en entornos de baja disponibilidad de nutrientes (Cornelissen et ál. 2003; Westoby y Wright 2003; Villar et ál. 2004; Poorter y Rizendaal 2008; Poorter et ál. 2010) y Leafing Intensity (Nº hojas/cm<sup>3</sup>) sobre la plasticidad fenotípica de las especies arbóreas a la perturbación y su adaptación al ambiente (Kleiman y Aarssen 2007; Yang 2008; Milla 2009).

En este sentido la aplicación de métodos en ecología funcional puede ayudar a comprender el potencial forrajero de especies adaptadas a determinadas condiciones ambientales de Bosque Seco Trópico, como en el Municipio de Belen, Departamento de Rivas, Nicaragua, donde la ganadería doble propósito leche y carne presenta una gran perspectiva en la economía local con un aproximado de 12.500 cabezas de ganado (INIFON 2011) y cuya alimentación está basa en pasturas naturalizadas (Velázquez. 2005).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la capacidad de rebrote de leñosas forrajeras dispersas en potreros para aumentar la disponibilidad de forraje en fincas ganaderas; a demás determinar los rasgos funcionales de los rebrotes que mejor explican su capacidad de rebrote y su productividad, que finalmente sirvan de insumo en posteriores investigaciones y uso por los productores en los planes de alimentación, principalmente para la época seca, siendo esta cada vez más crítica en el Departamento de Rivas.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### ***1.1.1 Objetivo General***

Evaluar la capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros para aumentar la disponibilidad de forraje y mejorar el sistema de alimentación del ganado en la época seca.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- Evaluar de la capacidad de rebrote en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.
- Determinar rasgos funcionales asociados a la capacidad de rebrote para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.
- Evaluar la disponibilidad de biomasa comestible para seis especies forrajeras arbustivas en potrero del trópico seco de Nicaragua.

## **1.2 Hipótesis del estudio**

- La capacidad de rebrote es diferente para cada especie y esta correlacionada con el tamaño de la hoja.
- El tamaño de las hojas explican la plasticidad fenotípica de los rebrotes y disponibilidad de forraje.
- Existe variabilidad en la producción de biomasa comestibles entre las especies forrajeras dispersas en potreros.

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Caracterización de la producción ganadera de Nicaragua.**

Nicaragua según el tercer censo agropecuario realizado en el año 2001 (CENAGRO III) cuenta con un hato ganadero de 2.657.039 cabezas distribuidas en 96.994 fincas con un promedio de 38.57 cabezas/ ha. Las fincas de menos de 0.35 a 140 ha representan un 67.6% del total del hato ganadero del país, esto significa que la mayor parte de los ganaderos existentes son pequeños y medianos, y manejan más de la mitad de la población ganadera bovina (Gobierno de Reconciliación 2008).

En el Municipio de Belen Departamento de Rivas el sector agropecuario presenta gran importancia en la economía local, se estima que la ganadería es una de las actividades productivas con fuerte perspectiva de crecimiento, con un aproximado de 12.500 cabezas de ganado para la producción de leche y carne (INIFON 2011). Mientras que a nivel del país el sector agropecuario juega un papel importante en el PIB nacional, en los años 2004, 2005 y 2006 aportando la actividad ganadera bovina alrededor del 7.1% al PIB total y el 67% al PIB pecuario (MAGFOR 2008).

### **2.2 Alimentación del ganado bovino y disponibilidad de forraje animal.**

La alimentación ganadera en Nicaragua, se sustenta su mayoría en el uso de gramíneas naturalizadas con especies como *Aristida jorullensis*, *Axonopus compresus*, *Paspalum virgatum* y *Hyparrhenia ruffa* y tan solo un 31% de los pastizales con nuevas variedades mejoradas por ejemplo: *Andropogon gayanus*, *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum* y *Brachiaria* spp, sin embargo tanto naturalizadas y mejoradas tienen una baja productividad y escaso valor nutritivo en términos de contenido de proteína (CP) y baja digestibilidad durante la estación seca (Mendieta et ál. 2000; Reyes 2007). La calidad nutritiva de las gramíneas forrajeras afecta de manera significativa la alimentación animal, en especial cuando la producción está basada en pastoreo extensivo, empleando gramíneas nativas como fuente de alimento. El clima es determinante en el desarrollo y crecimiento de las pasturas, principalmente en las

épocas de lluvia y sequía; ya que estas ejercen una variación en la digestibilidad y el contenido de proteína (Aguado et ál. 2004; Rojas 2008)

En este sentido el uso de especies forrajeras arbustivas es una alternativa de solución a los requerimientos nutricionales del ganado en la época seca, por esta razón los productores mantienen en sus potreros árboles que pueden satisfacer parte de esta demanda nutricional. Algunos estudios reportan el uso de especies forrajeras arbóreas y arbustivas en Nicaragua; Zamora (2001) para el Departamento de Boaco, reporta el uso de más de 30 especies para alimentación animal (follaje y frutos) con un rango de (6 -18 especies finca<sup>-1</sup>) y una abundancia de 28 árboles forrajeros por hectárea manteniendo la producción de leche en la época seca y proporcionando además otros bienes como madera, leña y sombra para ganado, destacándose las forrajeras *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Erythrina* spp y los frutos de *Pithecellobium saman* y *Enterolobium cyclocarpum*. Sanchez et ál. (2004) caracterizó para el Municipio de Belen Rivas, dentro de charrales y potreros 13 especies forrajeras arbóreas y 12 especies proveedoras de frutos para alimentación de ganado, afirmando que los productores conocen la cobertura arbórea presentes en su finca y usos. Además encontró que las especies más abundantes corresponden a *Guazuma ulmifolia* con 15% del total de árboles dispersos en los potreros, *Gliricidia sepium* 6.4% y *Enterolobium cyclocarpum* 3%. Mientras que Mosquera (2010) para este mismo municipio encontró que los productores mencionan la importancia de especies forrajeras para la alimentación animal en la época de sequía y reportan un total de 44 especies forrajeras y 56 especies que producen frutos de alimentación animal. El 95% de los productores, considera que los árboles que producen vainas son altamente nutritivos para el ganado, ya que aportan gran contenido de energía, aporta proteínas y otros nutrientes (concentración de nitrógeno y fósforo), lo que ocasiona que el ganado aumente de peso y produzca leche más espesa y nutritiva, entre estas especies se destacan: *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia*, *Pithecellobium saman* y *Manguifera indica* como proveedoras de frutos, mientras que en forrajeras sobre salen *Crescentia alata*, *Cordia dentata*, *Moringa oleifera*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Pithecellobium saman*.

### **2.3 Importancia nutricional de las forrajeras arbustivas en la alimentación animal.**

Las plantas forrajeras juegan un papel preponderante en la alimentación animal, las hojas de los árboles y arbustos, presentan un gran potencial al proporcionar proteínas y energía durante las épocas críticas de sequía, este valor nutricional esta correlacionado con la disponibilidad y accesibilidad de nutrientes presente en el suelo.

El uso de follaje mejora las dietas basadas en pastos de baja calidad y pajas, como se observa en África occidental en la comunidad de agro-pastores de Fulani en Sahel (Petit 2003), esta suplementación con forraje de árboles conduce un aumento significativo del consumo total de alimento y tasa de crecimiento de ovejas enanas de África occidental y pequeñas cabras de África Oriental, de igual manera los animales que reciben el follaje como suplemento también pueden beneficiarse de los efectos positivos de los compuestos secundarios en el follaje al enlazarse a proteínas de la dieta, durante la palatabilidad protegiendo a la proteína del ataque microbiano en el rumen (Rubanza et ál. 2007), además el complejo rico en proteínas se dirige y se utilizan en el intestino inferior actuando como una fuente de proteína by-pass para los animales (Terril et ál. 1992; Min et ál. 2003). Estudios recientes, muestran sin embargo otros atributos de los forrajes sobre la alimentación animal como en pasturas naturales en Nueva Zelanda donde se destaca la importancia de los rasgos funcionales físicos y químicos de las herbáceas nativas en la herbivoría de animales salvajes, al demostrar que las dos variables que determinan la selectividad de ciervos a los forrajes corresponden al tallo y la dureza de la hoja, es decir la morfología de la planta tiene un mayor impacto que la composición química en las preferencia de selección de herbívoros (Lloyd et ál. 2010).

Este valor nutritivo de los forrajes está en función de la composición química, consumo y eficiencia durante la digestión. La utilización para la alimentación está limitado por el contenido de lignina y la presencia o ausencia de factores anti-nutricionales que pueden ser tóxicos para los rumiantes, siendo los taninos el factor nutricional más importante en la digestibilidad de los forrajes (Sanona et ál. 2007). El follaje de una gran proporción de plantas tropicales se ha observado que contienen compuestos secundarios, generalmente llamados factores anti-nutricionales, que limitan

su potencial nutricional (Aganga y Tshwenyane 2003), sin embargo el uso de árboles forrajeros durante la estación seca, como suplemento o como alimento único, pueden mejorar la productividad y la capacidad de los animales para resistir los efectos nocivos de los parásitos (Hoste et ál. 2006), y combatir la infestación de parásitos gastrointestinales en rumiantes domésticos (Mueller y Harvey 2006). En este sentido, las leñosas forrajeras durante el periodo seco, tienen la capacidad de producir forraje en calidad y cantidad para cubrir los requerimientos nutricionales del ganado para mantenerse y producir leche y/o carne de manera satisfactoria o al menos evitar que se mueran; todo dependerá de la cantidad y calidad de la dieta a base de pasturas, en este sentido los bancos forrajeros constituyen una alternativa para reducir la presión de pastoreo que desencadena la degradación de las pasturas, tanto en época seca como cuando ocurren períodos de mucha lluvia (Turcios 2008).

Algunas investigaciones en valor nutricional de pasturas semi-naturales han demostrado la influencia de algunos de estos rasgos de las hojas en la digestibilidad animal, según Pontes et ál. (2007) la digestibilidad aumenta con la AFE (área foliar específica) y disminuye con CMS (contenido de materia seca) y la proteína aumenta considerablemente con el CNF (concentración de nitrógeno foliar), también, se ha apreciado una buena relación entre la digestibilidad de forrajes y el CMS, mientras que la digestibilidad de las herbáceas se correlaciona negativamente con CMS y positivamente con la altura, y para tejidos más gruesos se observa menor digestibilidad (Ansquer et ál. 2009). El porcentaje de hojas de las herbáceas se correlaciona negativamente con la altura de planta y positivamente con CMS (Ansquer et ál. 2009).

## **2.4 Factores que determinan la capacidad de rebrote en especies forrajeras arbóreas y arbustivas.**

La capacidad de rebrotes de las especies está influenciada por características fisiológicas propias de las especies, efectos del manejo en altura y periodos de cosecha. El crecimiento de rebrotes se asocia en cierto grado con la movilización de las reservas previamente acumuladas de nutrientes, almidón, azúcares y otras reservas de energía solubles (Morales et ál. 1992; Stur et ál. 1994; Canham et ál. 1999; Sakai y Sakai 1998; Latt et ál. 2000; García et ál. 2001; Kabeya y Sakai 2005). Las reservas de carbohidratos

por lo general se empiezan a acumular en las raíces y tallos inferiores sólo después del cese del crecimiento sobre el suelo (Kays y Canham 1991). En investigaciones en cuatro especies forestales del Noroeste de Connecticut, Estados Unidos *Acer rubrum*, *A. saccharum*, *Quercus rubra* y *Prunus serotina*, se apreció una reducción en la concentración de las reservas de carbohidratos inducida por la defoliación y una relación casi lineal entre las reservas de carbohidratos y la posterior supervivencia de plantas (Canham et ál. 1999).

En las áreas tropicales secas estacionales las concentraciones de carbohidratos de las especies leñosas suelen ser más altas a principios de la época seca (Morales et ál. 1992) o pueden no tener un efecto significativo en las reservas de carbohidratos para algunas especies como *Gliricidia sepium* pero sí para otras como *Leucaena leucocephala* quien sí reduce sus reservas por efecto de la estación seca (Latt et ál. 2000). En este mismo estudio en Ibadan, Nigeria (clima seco estacional) frecuencias de tres y seis semanas de poda y alturas de 70 – 50 cm sobre el nivel del suelo respectivamente generaron una progresiva disminución de las concentraciones de almidón y las reservas totales de carbohidratos en *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, disminuyendo la producción de materia seca, mientras que las concentraciones de azúcar soluble en las raíces y tallos de ambas especies se mantuvieron constantes por encima del nivel de los árboles control, esto sugiere que los niveles de azúcar se mantienen a través de la hidrólisis de las reservas de almidón (Latt et ál. 2000). Otros resultados en el trópico húmedo de Guadalupe, muestran que periodos de podas más prolongadas (2, 6 y 12 meses) y una altura de corte de 1.0 m del suelo en *Gliricidia sepium* las concentraciones de azúcares y almidón en la raíz no se vieron afectados por el régimen de la cosecha, con un aumento en la producción de forraje de ( $0.73 \text{ Kg árbol}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $3.43 \text{ Kg árbol}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), siendo la más alta concentración de almidón en tallos de árboles cosechados cada 12 meses (García et ál. 2001).

En zonas semiáridas del sur de África, Van Der Heyden and Stock (1995) reportaron que la capacidad de rebote de *Osteospermum sinuatum* (intensidad de poda 80%) depende inicialmente de las reservas de carbono almacenado en sus raíces y tallos, sin embargo una vez desarrolladas sus hojas se presenta una reposición de las reservas de carbohidratos mediante los fotosintatos producidos por las hojas y nuevas estructuras

y Hrabar (2009) observó en una poda simulada en *Colophospermum mopane* por elefantes, una compensación entre la disminución en el tamaño de rebrotes y un aumento en el número de ellos. Además sugiere que la tolerancia (es decir la regeneración) a la herbivoría es dependiente a la humedad del suelo (recursos disponibles: agua y nutrientes), cuando una parte del material fotosintético de la planta extrae agua, los nutrientes están potencialmente más disponibles para el resto del material fotosintético, lo que resulta en un aumento de crecimiento de rebrotes y crecimiento de las hojas (Alados et ál. 1997).

La altura y la frecuencia de cosecha tienen un efecto adverso sobre la productividad. Stur et ál. (1994) y Seresinhe et ál. (1998) recomiendan intervalos de corte de 8 - 16 semanas para algunas leguminosas arbóreas forrajeras tropicales, concordando con los resultados de Larbi et ál. (2005) quien determinó una relación lineal con el aumento de periodos de corta de 16 - 20 semanas a una altura de poda de 50 cm sobre el nivel del suelo, con productividad para *Gliricidia sepium* en 7.92 - 13.53 (Mg MS ha<sup>-1</sup>) respectivamente, *Leucaena leucocephala* en 6.54 - 7.31 (Mg MS ha<sup>-1</sup>) respectivamente y *Albizia niopoides* 3.05 - 4.96 (Mg MS ha<sup>-1</sup>) en trópicos húmedos del Oeste de África. Este mismo autor determinó que un aumento en la altura de poda (70 cm) favorece la producción de forraje en *Albizia niopoides* en la temporada de menor lluvia 1500 (Kg ha<sup>-1</sup>) a una altura de 75 cm sobre el nivel del suelo, mientras que la temporada seca presentó la menor producción 250 (Kg ha<sup>-1</sup>) en el sur oeste de Nigeria (Larbi et ál. 2000).

En otras especies como *Acacia mangium* los periodos de corta de 84 días y alturas de poda de 100 cm sobre el nivel del suelo muestran rendimientos de materia seca (RMSFG) de 0.0827 (Kg/planta) y tasas de crecimiento de la fracción gruesa (TCFG) en 0.33 (g/planta/día) (Rodríguez 2001). Para *Brosimum alicastrum* la producción de rebrotes después de 16 meses a una altura de poda de 1,5 m y edades entre los 2 - 4 años llegó a valores de 1.6 y 3.4 Kg MS/Árbol respectivamente (Castillo et ál. 2004). En árboles de *Guazuma ulmifolia* con alturas de poda entre los 6 - 8 m se observa una producción de 7.47 Kg MS/Árbol, mientras que podas mayores a 8 m de 29.0 kg MS/árbol sin embargo se considera que esta especie tiene muy baja capacidad de resistencia a la sequía (Sánchez et ál 2001). Para esta misma especie, podas de 1.7 - 5 m de altura y Dap entre 10.15 y 20 cm muestra producciones de 1.71- 2.34 - 2.99 Kg

MS/Árbol después de seis meses de poda (López et ál. 2003) siendo la característica del árbol que mejor explica su productividad el diámetro basal, debido a su relación la reserva de carbohidratos del árbol después de la poda, lo que permite la formación de los rebrotes (Berninger et ál. 2000).

## **2.5 Rasgos funcionales de las plantas como respuesta a la herbivoría y el funcionamiento del ecosistema.**

En la actualidad se han desarrollado diversos estudios con el propósito de predecir la respuesta de las plantas al pastoreo, su impacto sobre el crecimiento y funcionamiento del ecosistema (Adler et ál. 2005). Para lograr este objetivo los investigadores utilizan algunos rasgos de fácil medición “suaves” como el tamaño de las hojas o área foliar (AF), el contenido de materia seca (CMS) y área foliar específica (AFE) debido a que son altamente correlacionados con los rasgos de difícil medición “duros”, como la tasa de crecimiento relativo, la capacidad fotosintética y la tasa de rotación de la hoja, reflejando el equilibrio entre el crecimiento y de defensa contra los herbívoros (Zheng et ál. 2010). También, existen otros rasgos como la dureza de la hoja que están estrechamente correlacionados con la tasa de crecimiento foliar y nutrientes a través de un amplio conjunto de especies (Westoby 2002). Algunas plantas como medida de adaptación, desarrollan medidas de compensación a la tolerancia al pastoreo, debido a su alta área foliar y baja dureza que las hace susceptibles a la palatabilidad, por ejemplo, su altura que es otro rasgo reconocido en respuesta de las plantas al pastoreo (Lloyd et ál. 2010).

Estudios han demostrado que el tamaño de la hoja muestra generalmente disminuciones con la persistencia de pastoreo, para una dada superficie foliar y / o en masa, hojas más grandes proporcionan mejores bocados para el ganado, mientras que las hojas más pequeñas requieren más mordiscos (Díaz et ál. 2001). Las plantas que toleran el pastoreo deben tener alta área foliar específica y una baja dureza de sus hojas, lo que dispara la capacidad de aumentar la regeneración y la selectividad por los herbívoros (Harguindeguy 2003).

Otras investigaciones demuestran que la respuesta de los rasgos al pastoreo está mediada fundamentalmente por la disponibilidad de recursos (precipitación y nutrientes del suelo) y la intensidad e historia del pastoreo (Graff et ál. 2007). Durante mucho tiempo algunos investigadores han mencionado los posibles problemas que tiene el vincular la alteración de las hojas de las especies con el cambio en el funcionamiento del ecosistema (Adler et ál. 2005), es decir, no se debe considerar tan solo los impactos del pastoreo sobre los atributos de la hoja, sino también en número de hojas por planta y número de individuos dentro de una comunidad, a nivel de individuo y a nivel de grupo funcional (Zheng et ál. 2010). El atributo de las hojas puede ser afectada por rasgos de disimilitud entre los distintos grupos funcionales (hipótesis de complementariedad), redundancia funcional o una indemnización entre las especies dentro del mismo grupo (Gamfeldt et ál. 2008). Del mismo modo, a nivel comunitario, los impactos de pastoreo en propiedades de la hoja (índice de área foliar, biomasa foliar y área foliar específica) y el funcionamiento de los ecosistemas es probablemente mediada por la disponibilidad de recursos y la complementariedad de nichos con especies de diferentes características (Schumacher y Roscher 2009). Estudios recientes han explorado los efectos del pastoreo en las propiedades de los ecosistemas mediante el uso ponderado de los rasgos a nivel comunitario, partir de los rasgos a nivel de la hoja en combinación con la abundancia de las especies en la comunidad (Garnier et ál. 2007). Sin embargo, todavía es difícil identificar los mecanismos que vinculan la incidencia de pastoreo en los rasgos de la hoja y el funcionamiento de los ecosistemas basado en un análisis a nivel de organización individual. Por lo tanto, más investigación sobre "las funciones de integración" en los diferentes niveles de organización que se necesita, sin duda mejorarán la comprensión sobre los vínculos entre los rasgos funcionales mecanicistas, las características de las plantas y las propiedades de los ecosistemas (Violle et ál. 2007).

Alguno estudios realizados en pasturas naturales de Nueva Zelanda han demostrado cambios en la vegetación como estrategia de resistencia a la introducción de herbívoros como oveja (*Ovis aries*) y el ciervo rojo (*Cervus elaphus*), en concreto la aparición de variedades de herbáceas, arbustos y árboles pequeños con ramificación gran angular, entrenudos largos y pequeñas hojas, son características interpretadas generalmente como adaptaciones ya sea para disuadir la alimentación o soportar los aspectos del clima (McGlone y Clarkson 1993). Para este estudio se apreció

diferencias significativas entre animales en la selección o la evitación de taxones de césped, estas diferencias de selección se encontraron relacionadas con la diferente respuesta de las hojas de las plantas en sus rasgos funcionales. *Cervus ssp. mandchuricus* tenían una mayor tendencia que *Ovis ssp.* para seleccionar las hierbas con un mayor área foliar específica (AFE). Lo que sugiere, que no es posible generalizar los rasgos de las hojas en relación a la palatabilidad a través de diferentes especies de ungulados. Los resultados sugieren que diferentes especies de ungulado pueden tener efectos acumulativos sobre la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema en los pastizales nativos de Nueva Zelanda. Estos resultados indican que los impactos de ungulados herbívoros sobre los procesos de los ecosistemas dependerá de la presencia de gramíneas (Lloyd et ál. 2010).

Para pastizales de la cuenca de río Xilin de Inner en Mongolia - China se ha utilizado los efectos del pastoreo (área foliar, materia seca de la hoja y área foliar específica) sobre el funcionamiento del ecosistema a lo largo de seis comunidades vegetales en diferentes gradientes ambientales y más de 226 especies comunes de pastoreo y sitios de pastoreo. Los resultados muestran que los efectos del pastoreo sobre los rasgos de la hoja difieren sustancialmente con la especie, grupo funcional (formas de vida y ecotipos de agua) de la comunidad, y también con el tipo de vegetación o las condiciones del lugar. Los efectos del pastoreo en los rasgos funciones de la hoja disminuyó progresivamente con los niveles de organización jerárquica en los prados, con repercusiones predominantemente negativas sobre los niveles de organización superiores en las estepas. Además se apreció la influencia del agua del suelo y la disponibilidad de nutrientes, con el tamaño de las hojas y número de hojas por individuo, y las diferentes estrategias de evitación y tolerancia a la herbivoría (Zheng et ál. 2010)

## **2.6 Rasgos funcionales de las especies asociados a la capacidad de rebrote.**

Tomando en consideración la importancia explicativa de los rasgos funcionales en el funcionamiento del ecosistema y sobre los atributos individuales de la planta; tasa de crecimiento relativo y la plasticidad fenotípica, los rasgos que mejor se asocian a la

capacidad de rebrote de las especies corresponden a los rasgos foliares materia seca (MS), área foliar (AF) y área foliar específica (AFE).

El tamaño, forma y estructura de las hojas tienen una considerable variación interespecífica, y muchos aspectos de estas variaciones pueden estar asociadas con las condiciones ambientales a las que la planta se ha adaptado (Terashima et ál. 2005), este valor adaptativo de un rasgo se ve en el contexto de la economía de los recursos, es decir, la adquisición y pérdida de recursos, como la intercepción de luz, el intercambio de gases y longevidad de la hoja (Falster y Westoby 2003). Además, de un contexto biomecánico en el cual las hojas están diseñadas para resistir las fuerzas a la que están expuestas (Balsamo et ál. 2003).

En la economía de la hoja, el área específica foliar (AFE) es un rasgo fundamental, ya que caracteriza tanto la inversión en masa y el potencial de retorno del área fotosintéticamente activa y en la biomecánica (Wright et ál. 2004), mientras que el tamaño de las hojas área foliar (AF) es un rasgo fundamental porque las fuerzas que afectan su estructura están estrechamente ligados a su tamaño (Niklas et ál. 2008), por consiguiente los anteriores rasgos de la hoja presentan un amplio rango de plasticidad fenotípica en respuesta a las condiciones de crecimiento (Cornelissen et ál. 2003).

En este sentido algunos estudios suponen que la variación en el área foliar (AF) tiene un significado directo sobre una amplia gama de características de las plantas, incluyendo la altura de planta (Ackerly y Donoghue 1998; King 1998; Cornelissen 1999) densidad de la madera (Pickup et ál. 2005), soporte del rebrote y tamaño de la rama (Bond y Midgley 1988; Brouat et ál. 1998; Westoby y Wright 2003), asignación de apoyo en los tejido y la actividad fisiológica (Niinenments et ál. 2006), en el balance de energía de la hoja (Gates 1980), vida de la hoja (Moles y Westoby 2000) y área foliar específica (Shipley 1995; Westoby y Wright 2003).

El área foliar (AF) o tamaño de la hoja ( $\text{mm}^2$  de lámina foliar) es una medida de la planta de su inversión en órganos fotosintéticos (Villar et ál. 2004) y se supone tiene algún significado directo de adaptación; por ejemplo en términos de eficiencia en el intercambio de energía bajo diferentes condiciones ambientales (Parkhurst y Loucks 1972; Givnish y Vermeij 1976) y estrategias frente al estrés de nutrientes y la

perturbación (Cornelissen et ál. 2003). Las consecuencias de una adaptación del tamaño de la hoja generan efectos sobre las características de la planta (Kleiman y Aarssen 2007) siendo el área foliar principalmente un órgano de fotosíntesis e intercambio de carbono (Poorter y Rozendaal 2008; Poorter et ál. 2010).

Dentro de estos rasgos foliares también se destaca, el área foliar específica (AFE) que corresponde a la relación entre área de la hoja ( $\text{mm}^2$ ) y su correspondiente peso seco ( $\text{mg}^{-1}$ ) (Cornelissen et ál. 2003), es una de las principales variables que afectan el crecimiento de la planta, por favorecer cambios en el área foliar y la eficiencia fotosintética en el uso del nitrógeno (Pérez 2004) por consiguiente es utilizado para explicar la variación en la tasa de crecimiento de las plantas (Cornelissen et ál. 1996; Antúnez et ál. 2001) y está positivamente asociada con la tasa de asimilación neta (NRA), sin embargo otros factores, como la proporción de biomasa distribuida en los diferentes órganos, las tasas de fotosíntesis y respiración, o la composición química de la hoja intervienen de forma decisiva en las tasas de crecimiento (Villar et ál. 2004).

Algunos autores señalan que el tamaño del rebrote y el tamaño de sus hojas son una de las dimensiones principales de la variación en los rasgos funcionales de plantas (Westeboy et ál. 2002) y se reconoce que el tamaño del rebrote está positivamente correlacionada con el tamaño de las hojas adjuntos (Corner 1949; Poorter et ál. 2010). Estas correlaciones o efectos de compensación son llamados trade-off y se refieren a un principio fundamental de la teoría de la estrategia de la ecología evolutiva e implica que un costo en un rasgo genera un consecuente beneficio sobre otro de sus rasgos (Steams 1989). Un trade-off importante en las plantas es el tamaño de la hoja y el número de hojas donde las plantas pueden tener pequeñas y muchas hojas o grandes y pocas hojas dependiendo de las condiciones ambientales (Kleiman y Aarssen 2007).

El beneficio de hojas grandes corresponden a la intercepción de la luz y el aumento de carbono fotosintético en ambientes sombreados debido a una espesa capa límite para el intercambio de calor (Horn 1971) sin embargo los costos de estos beneficios se asocian a una mayor susceptibilidad a daños por el viento, mayores estructuras de soporte para hoja como peciolos y raquis más largos, reduciendo los contenidos de nitrógeno foliar por unidad de masa seca limitando la capacidad

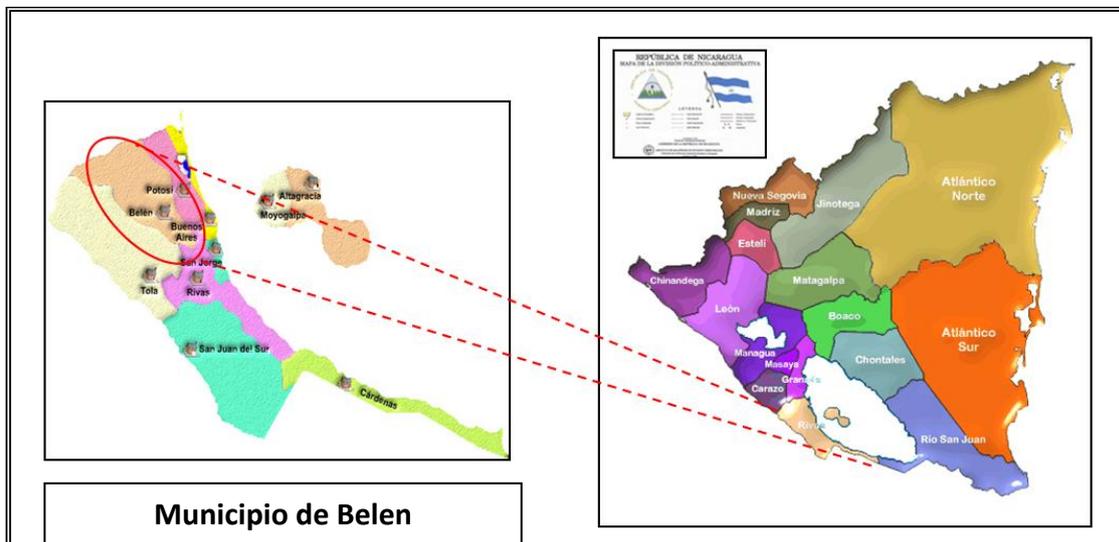
fotosintética (Niinemets et ál. 2006), mientras que hojas relativamente pequeñas tienen como beneficio una mayor capacidad de intercambio de calor, considerado ventajoso en climas calientes, ambientes seco, altos y bajos entornos de nutrientes (Gates 1980; Dudley 1996; Ackerly et ál 2002; Bragg y Westoby 2002; MacDonald et ál. 2003) Además, se asocian con la reducción del tiempo de expansión de la hoja y pueden reducir las pérdidas por herbivoría (Moles y Westoby 2000).

Partiendo de estos principios Kleiman y Aarssen (2007) proponen la hipótesis que la variación en el tamaño de la hoja se puede explicar mediante un isométrico entre la masa seca de las hojas individuales del rebrote y su intensidad de hojear (Leaf intensity) es decir el número de hojas del rebrote sobre su volumen. Según la hipótesis de esta "prima hojear intensidad", los beneficios de la aptitud de una mayor intensidad de hojear se asocia a un mayor número de hojas por rebrote y por consiguiente un menor tamaño de hojas y bajos valores de masa seca. Además de beneficios de la aptitud de un grupo más grande de los meristemos laterales, ya que cada hoja se asocia generalmente con una yema axilar (Kleiman y Aarssen 2007; Ogawa 2008; Yang 2008; Milla 2009) El crecimiento de las plantas y la reproducción se derivan de los meristemos, mientras más número de hojas por lo tanto mayor número de meristemos/rebrote, esto proporciona mayor plasticidad fenotípica en el ajuste, de la asignación de meristemos/rebrote en las funciones vegetativas Vs reproductivas (Boner y Aarssen 1996). En este sentido, la variación en el área foliar (AF) es determinante en la productividad de las plantas en términos de forraje y capacidad de adaptación a la perturbación en el ambiente.

### 3. MATERIALES Y METODOS

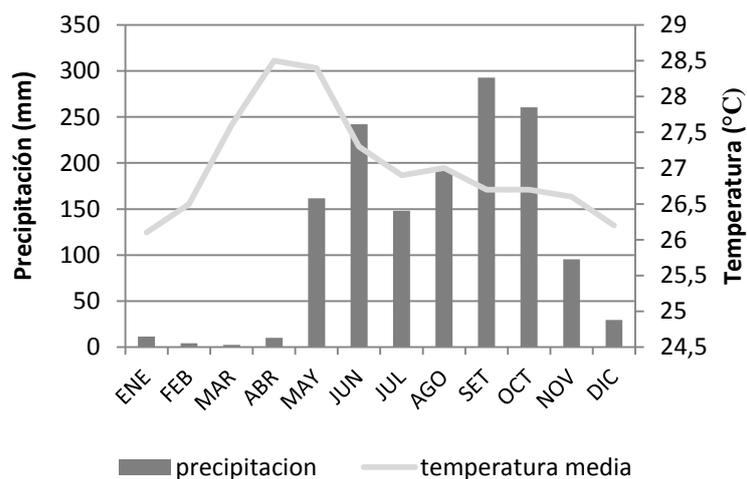
#### 3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el Municipio de Belén, Departamento de Rivas, Nicaragua, ubicado entre las coordenadas 11°30' Norte y 85°53' Oeste, con una elevación que oscila entre 100 y 200 msnm (INETER 2000) (Figura 0-1). La zona tiene una superficie total de 246.26 km<sup>2</sup>, una población estimada de 16.558 habitantes y una densidad de 67.24 hab/ km<sup>2</sup>, ubicándose la mayor densidad en el sector rural con 40.00 hab/ km<sup>2</sup> (INIFON 2011)



**Figura 1.** Ubicación geográfica Municipio de Belén, Departamento de Rivas, Nicaragua Fuente: INETER 2011

La vegetación de la zona corresponde a bosque seco tropical (Holdridge 1987). Con una temperatura media anual superior a 27°C, una precipitación media anual de 1400 mm, y una elevación que oscila entre 100 y 200 msnm (INETER 2000). Esta región se caracteriza por la presencia de dos épocas climáticas bien marcadas, la primera una época seca que inicia en el mes de Diciembre hasta finalizar el mes de Abril, con un periodo de fuerte sequía en los meses de Febrero, Marzo y Abril. Una segunda época, que corresponde a la de invierno, que inicia en el mes de Mayo y se prolonga con algunas fluctuaciones hasta el mes de Noviembre (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución de precipitaciones y temperaturas anuales para los periodos 1971-2000, Región de Rivas, Nicaragua. Fuente: INETER 2010.

El municipio de Belen está conformado por un sistema montañoso, de relieve marcado y valles relativamente planos. El sistema montañoso es parte de la formación Brito y el material que origina éstos suelos es la Lutita. Los valles son de origen aluvial, coluvial y volcánico. El paisaje está conformado por planicies 3.948,2 ha. (13.8%) y sistemas montañosos, a los cuales corresponde una partición de 24.651,8 ha. (86.2%) (INIFON 2011). Los suelos formados por este tipo de material parental son Vertisol y Molisol (INETER 2000; Saucedo 2010; Rodríguez 2011.)

Las comunidades del estudio fueron Cantimplora, San Juan viejo, La Chokolata, La Cruz y El Menco y se asientan en suelos tipo Vertisoles (Sonzocuite), que corresponden a suelos minerales de desarrollo reciente, con horizonte superficial de poco espesor, muy arcillosos, que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas y durante la estación lluviosa se expanden, tienen formación de micro relieve en la superficie, son de muy profundos a moderadamente profundos (que no tienen contacto rocoso a menos de 50 cm de profundidad), formados de sedimentos lacustres o lagunares, de tobas, basaltos y otras rocas ricas en bases y fácilmente meteorizables, en pendientes de 0–8%, también se encuentran en pendientes de hasta 15% (INETER 2006; Reyes 2010).

### 3.2 Selección de especies arbóreas en potrero con potencial forrajero

Con el objetivo de conocer la correlación entre capacidad de rebrote y el área foliar (AF) o tamaño de hoja, inicialmente se seleccionaron preferiblemente especies con diferentes AF, sin embargos estas especies forrajeras fueron sujetas a otros criterios de selección trascendentales para el productor y su producción animal, como el conocimiento local, preferencia de consumo por el ganado, abundancia y distribución diamétrica de los individuos en los potreros.

- **Conocimiento local.** Los habitantes de las comunidades de Cantimplora, La Chocolate, Mata de caña, Viejo San Juan, han reconocido mediante su conocimiento local, la multifuncionalidad de sus árboles y han identificado más de 44 especies con propósitos forrajeros para alimentación animal, entre las que se destacan *Gliricidia sepium*, *Cassia grandis*, *Moringa oleífera*, *Leucaena leucocephala*, *Albizia saman*, *Albizia nipoides*, *Cordia dentata*, *Brosimum alicastrum*, *Enterolobium cyclocarpum*, y *Guazuma ulmifolia* (Mosquera 2010). De acuerdo a este conocimiento, los productores sostienen que estas especies por su producción de vainas, hojas pequeñas y suaves (tamaño y fuerza física de la hoja) son las mejores para el ganado porque contienen proteína y otros minerales, son altamente preferidos por el ganado, son fáciles de comer y digerir (digestibilidad del forraje) mejorando la producción de leche (Sánchez 2004; Mosquera 2010).
- **Pruebas de preferencia de forrajeras por el ganado.** Mediante pruebas de preferencia en el consumo de leñosas por vacas en producción de leche, se determinó el siguiente orden de preferencia *Albizia. saman* *Leucaena. leucocephala*, *Albizia. niopoides*, *Cordia dentata*, *Moringa oleífera*, *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, *Brosimum alicastrum*, *Mimosa pigra* y *Acacia farnesiana* (Pérez 2011).
- **Abundancia y distribución diamétrica de las especies leñosas forrajeras.** Con el propósito de conseguir el número de árboles suficientes para evaluar la capacidad de rebrote, se realizó un análisis de frecuencia, Dap y localización de los individuos y las especies forrajeras con potencial de consumo animal y

conocimiento local, mediante el uso de las bases de datos de árboles en potreros de los proyectos SILPAS y FUNCITree (2009) con un total de 3256 árboles y 72 especies, distribuidos en 41 potreros en sistemas silvopastoriles (SSP) en el municipio de Belen Departamento de Rivas, donde se determinó que las especies más abundantes correspondían a *Guazuma ulmifolia* 16.34%, *Cordia alliodora* 11.33%, *Myrospermum frutescens* 8.72%, *Gliricidia sepium* 5.28%, *Byrsonima crassifolia* 5.03%, *Diphysa americana* 7.18%, *Acrocomia mexicana* 4.57% y *Tabebuia rosea* 4.36%. Posteriormente se realizó una búsqueda de individuos fuera de base de datos que cumplieran los criterios biofísicos del potrero y morfológicos de los individuos, estos debido a que los árboles en su totalidad no presentaban las características óptimas para la investigación.

Una vez explorada la información se determinó que las especies con el mayor potencial para evaluar la capacidad de rebrote por su tamaño de hoja, conocimiento local, pruebas de preferencia y abundancia en potreros se determinaron las siguientes especies: *Albizia niopoides*, *Albizia saman*, *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Pithecellobium dulce* (Cuadro 1). Esta última especie, no muy abundante en la zona, sin embargo existen reportes de su valioso aporte en la alimentación animal en algunos países Centro Americanos y Suramericanos, por esta razón se decidió agregar en la lista de investigación, siendo una especie común en cercas vivas y árboles en potrero (Hernández et ál. 2001; Monroy y Colin. 2004). La investigación tuvo el interés de incluir las especies *Moringa oleífera*, *Brosimum alicastrum* y *Leucaena leucocephala* sin embargo su abundancia dentro de potreros no fue la suficiente para la investigación.

**Cuadro 1.** Descripción de especies arbustivas forrajeras en potrero del trópico seco de Nicaragua.

| Especies (Familia y Subfamilia)                            | Fructificación <sup>3</sup> | Hojas <sup>3</sup>       | Tipo de hojas <sup>3</sup> | Área foliar (mm <sup>2</sup> ) | Área foliar específica (mm <sup>2</sup> mg <sup>-1</sup> ) | Uso por herbívoros   |
|--|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|--|--|
| <i>Albizia Niopoides</i><br>Fabaceae,<br>Mimosoideae       | (Ago-Sep)                   | Caducifolia<br>(Mar-Dic) | Compuesta                  | 6320.6 <sup>12</sup>           | 15.3 <sup>12</sup>   | Se reporta en bosque natural, bancos de forraje <sup>5</sup> y potreros. Hojas consumidas por Ganado y Ovinos <sup>5</sup> .   |
| <i>Albizia samana</i><br>Fabaceae,<br>Mimosoideae          | (Feb-Mar)                   | Semideciduo<br>(Abr-Dic) | Compuesta                  | 29564.8 <sup>13</sup>          | 7.3 <sup>13</sup>  | Utilizado en bancos de forraje, linderos y dispersos en potrero <sup>6</sup> . Bosque semideciduo tropical <sup>4</sup> . Frutos ricos en proteína y preferencia moderada del forraje por Ganado Vacuno <sup>6</sup> .   |
| <i>Cordia dentata</i><br>(Borraginaceae)                   |                             | Semideciduo<br>(Abr-Dic) | Simple                     | 4212.1                         | 14.7   | Forrajera presente en cercas vivas para alimentación de ovinos caprinos <sup>10</sup> y ganadería. <sup>11</sup> Sombra, leña y medicina <sup>11</sup> y buena capacidad de rebrote.   |
| <i>Gliricidia Sepium</i><br>(Fabaceae)                     | (Feb-May)                   | Caducifolia<br>(Abr-Dic) | Compuesta                  | 16390.3 <sup>12</sup>          | 18.6 <sup>12</sup>   | Reportado en bancos de forraje <sup>6</sup> , cercas vivas <sup>7</sup> y disperso en potrero <sup>8</sup> . Usado para alimentación de ovinos y ganado <sup>5</sup> . Hojas ricas en proteína <sup>6</sup> .  |
| <i>Guazuma ulmifolia</i><br>(Malvaceae,<br>Byttnerioideae) | (Feb-Abr)                   | Caducifolia<br>(Abr-Dic) | Simple                     | 4968.6                         | 12.8   | Utilizado como banco de forraje <sup>6</sup> , cercas vivas y potreros <sup>9</sup> . Altos contenidos de proteína en hojas <sup>6</sup> y frutos <sup>8</sup> . Conocido para alimentación de Ganado y Ovinos <sup>6</sup> .  |
| <i>Pithecellobium dulce</i><br>(Fabaceae,<br>Mimosoideae)  | (Mar-jun) <sup>2</sup>      | Caducifolia <sup>2</sup> | Compuesta                  | 4171.9                         | 10.9   | De uso en bancos de forraje <sup>1</sup> , selva baja caducifolia <sup>2</sup> y Cercas vivas o dispersos en potrero. Hojas comestible <sup>1</sup> y vainas ricas en proteína <sup>2</sup> . Conocido para alimentación de Cabras <sup>14</sup> y Ganado <sup>2</sup> . |

Fuente: García et ál. (2006)<sup>1</sup>; Monroy et ál. (2004)<sup>2</sup>; Cordero et ál. (2003)<sup>3</sup>; Korbust et ál. (2009)<sup>4</sup>; Larbi et ál. (2005)<sup>5</sup>; García et ál. (2008)<sup>6</sup>; Missouri Botanical Garden (2011)<sup>7</sup>; Miranda et ál. (2008)<sup>8</sup>; Zamora (2001)<sup>9</sup>; Ruano (1994)<sup>10</sup>; Ruiz (2010)<sup>11</sup>; Sánchez (2011)<sup>12</sup>; Olivero (2011)<sup>13</sup>. Barnes (1998)<sup>14</sup>.

### 3.3 Selección de árboles en potrero con potencial forrajero

Una vez determinadas las especies forrajeras arbustivas, se realizó un recorrido en campo con el propósito de identificar los individuos que cumplieran con las características morfológicas óptimas para el estudio y su distribución libre dentro de los potreros evitando la competencia por recursos entre vecinos. En este sentido se encontró que las características biofísicas entre potreros fueron muy distintas en pendiente, flujos

de agua transitorios, manejo de pasturas y procesos erosivos, por esta razón y con el propósito de reducir la variabilidad estadística entre los individuos generada por estas variables, se seleccionaron árboles para cada especie preferiblemente dentro de un mismo potrero, sumado a situaciones de orden logístico que ampliarían el tiempo de monitoreo por desplazamientos. (Cuadro 2).

Las implicaciones de este diseño estadístico incurrirían en un posible efecto de calidad de sitio, que para este estudio fue difícil conocer, debido a que no era un objetivo del mismo, sin embargo es importante mencionar que los potreros se localizaron como criterio principal en suelos tipo vertisol, reduciendo así este efecto.

**Cuadro 2.** Criterios biofísicos de potreros e individuos de especies arbustivas forrajera del trópico seco de Nicaragua.

| POTRERO   | ARBOLES   |
|---|---|
| Fisiografía uniforme para minimizar la variabilidad del tipo de suelo, preferiblemente de tipo Vertisol.                                      | Diámetro a la altura del pecho (Dap) entre (10 cm - 35 cm) y Alturas de ramificación (Hr) superior a 2.0 m. Con el propósito de lograr la altura requerida para realizar la poda y evitar efectos de ramoneo por el ganado. |
| Pasturas activas y régimen de pastoreo similar.   | Individuos preferiblemente bien distribuidos en pasturas activas a plena exposición solar, y que sus copas no se crucen con próximos vecinos, evitando el efecto de sombra (Cornelissen et ál. 2003).                       |
| Pendientes < 20% para minimizar efectos de erosión y gradiente de fertilidad. Para <i>Gliricidia sepium</i> se consideraron Pendientes > 20%. | Árboles con mínima presencia o antecedentes de antiguas podas, que permita homogenizar la historia del los individuos.  |
| Minimizar zonas de acumulación de sedimentos, drenajes transitorios y permanentes.  |   |

La selección de los árboles se realizó mediante recorridos en potreros e intercambio de información con los productores y su familia para cumplir con los criterios de selección de los árboles y el potrero. En este sentido al identificar la distribución espacial de *Gliricidia sepium*, se determinó incluir individuos en pendientes superiores a los 20 %, ya que se encontraron pocos árboles en pendientes menores a 20%.

### 3.4 Tratamientos y diseño experimental

El diseño estadístico correspondió al de parcelas subdivididas, donde el factor principal o parcela fue la especie (arbórea) y la sub-subparcela la poda (medición mensual). Se recolectó información de seis especies con seis replicas para un total de 36 individuos, sometidos a una intensidad de poda del 100%.

Al final del muestreo se cosecharon los rebrotes y se dividieron en cuatro fracciones de biomasa (Kg); Fracción fina (Hojas (HF) y Tallos (TF) con diámetro menor a 5 mm) y Fracción gruesa (Hojas (HG) y Tallos (TG) mayores a 5 mm) (Rodríguez et ál. 2001).

Se realizaron análisis de estadística descriptiva (media, desviación estándar, error estándar, coeficientes de variación, mínima y máxima) para todas las variables y múltiples análisis de varianza ANOVA para la producción de biomasa (Kg MS) entre especies y las covariables medidas en los individuos: área basal (AB), diámetro a la altura del pecho (DAP) y diámetro a la altura de poda (Dhp), sin embargo cuando estos no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se corrieron modelos lineales, generales y mixtos ejecutándose distintas pruebas de heteroscedasticidad: *VarIdent*, *VarExp* y *VarPower* con nivel de significancia ( $p < 0.0001$ ) hasta lograr cumplir con los supuestos requeridos

Se ejecutaron correlaciones simples de Pearson (Cover 1999) entre las covariables de los individuos, las variables de productividad y rasgos asociados a los rebrotes con un intervalo de confianza del 95% y finalmente se utilizaron gráficos de cajas (box-plot) entre rasgos funcionales de los rebrotes, siendo los percentiles 25, 50 (media) y valores extremos los percentiles 5 y 95. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando en el software estadístico INFOSTAT 2009

Los rasgos funcionales de los rebotes y leaf intensity (hojeando intensidad) se analizaron mediante el muestreo de 18 rebrotes por especie, es decir tres replicas por individuo para un total de 108 rebrotes muestreados para las seis especies. Para probar la diferencia entre especies se realizaron análisis de varianza ANOVA para los rasgos

asociados a los rebrotes; longitud (cm), volumen (cm<sup>3</sup>), biomasa hojas (gr MS) y hojearo intensidad (Nº hojas cm<sup>3</sup>).

Hojearo intensidad se estimó mediante la relación del número de hojas del tallo principal del rebrote y su correspondiente volumen, de igual manera se consideró la masa de las hojas ubicadas en el tallo principal del rebrote. Para la estimación del volumen se utilizó la fórmula del cono truncado, a diferencia de lo propuesto por Kleiman, D y Aarssen (2007) quienes simulan un cilindro. Esta adaptación de la metodología de Kleiman y Aarssen (2007) al considerar tan solo la información del tallo principal se debió a la limitación de recursos técnicos y de logística.

$$V = \frac{h\pi}{3} (R^2 + R * r + r^2 )$$

V= Volumen

h: Altura

R: Radio mayor

r: Radio menor

### ***3.4.1 Manejo de poda en arboles dispersos en potrero***

Los árboles fueron sometidos a podas totales a una altura de 2.0 m sobre el nivel de suelo, entre los días 18 - 25 abril a finales de la época seca, siendo este el periodo más crítico del año en disponibilidad de forraje. En total se realizaron 36 podas, es decir seis replicas por especie. El diámetro promedio estimado para las especies correspondió (media ± error estándar); *Albizia niopoides* 14.65 ± 0.74 cm; *Albizia saman* 16.7 ± 1.85 cm; *Cordia dentata* 26.15 ± 1.97 cm; *Gliricidia sepium* 17.83 ± 1.79 cm; *Guazuma ulmilifolia* 19.42 ± 0.79 cm, finalmente *Pithecellobium dulce* 30.15 ± 2.11 cm. Las especies *Cordia dentata* y *Pithecellobium dulce* presentaron un mayor Dap con respecto a las demás; esto puede deberse para *Cordia dentata* a la multifuncionalidad de servicios y resulta más fácil conservar los individuos que aprovecharlos totalmente como ocurre con *Gliricidia sepium* quien se aprovechan completamente para el uso de postes. Para *Pithecellobium dulce* este Dap puede deberse a un mayor número de fustes con respecto a las demás especies.

La técnica de poda se realizó en base a información suministrada por los productores de la zona (conocimiento local sobre el uso de las especies), donde se consideraron las siguientes recomendaciones:

- a) Un mismo sujeto para todas las podas “Ojala que no tuviera la mano caliente<sup>1</sup>”. Sin embargo fue difícil de evaluar esta característica personal.
- b) Un mismo conjunto de herramientas (machete, hacha y moto sierra)
- c) Corte en forma de bisel para evitar acumulación de agua, evitando la generación de hongos.
- d) Las podas se realizaron con motosierra a una altura de 2,30 m sobre el nivel del suelo, posteriormente se utilizó machete con el propósito de podar los 30 cm restantes hasta lograr la altura de investigación (2,0 m), esta metodología reduce el efecto de aceite de la cadena y calor propagado por la espada de la motosierra y que según argumentan los productores es un inhibidor en el crecimiento de los rebrotes.
- e) La fecha de poda es un elemento determinante en uso de las especies, los productores recomiendan realizar siembra de postes para cercas vivas y podas de árboles durante la última semana de abril “Primavera” es la fase lunar más conveniente y los postes “Pegan”. Esta fecha corresponde a la fase lunar cuarto creciente, la de menor luminosidad (25%) donde el flujo de la savia comienza a descender y se concentra en tallos y ramas (Restrepo 2004). Sin embargo por logística de la investigación las únicas especies podadas en este fase correspondieron a *Albizia saman*, *Cordia dentata* y *Pithecellobium dulce*. Una vez realizada la poda, se procedió a cercar cada uno de los individuos en un área de 4 m<sup>2</sup> con tres líneas de alambre de púa, con el propósito de aislar el ganado e impedir el ramoneo sobre los individuos.

### **3.4.2 Variables de medición**

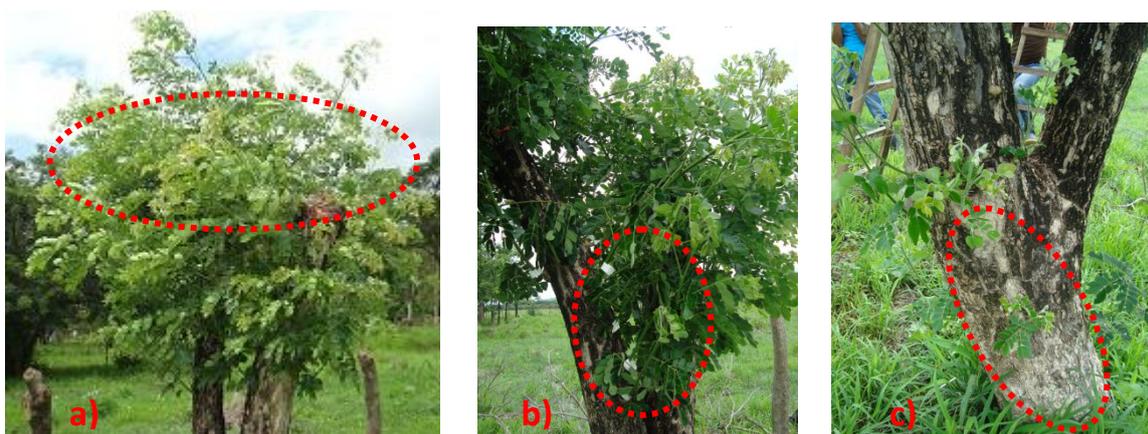
Los árboles fueron medidos en sus variables: área basal (AB) medido a los 0.3 m sobre el nivel del suelo, diámetro a la altura del pecho (Dap) medido a los 1.30 m

---

<sup>1</sup> Buen humor del individuo que favorece el rebrote y desarrollo de las plantas

sobre el nivel del suelo, altura total (Alt), altura de ramificación (Hr), diámetro de copa (DC) y su correspondiente georeferenciación.

1. Capacidad de rebrotes. Se realizaron muestreos mensuales durante los meses de mayo y agosto del 2011, en los cuales se contabilizaron el número de rebrotes nuevos ubicados en el tercer tercio del árbol (T), segundo tercio del árbol (I) y primer tercio del árbol (B) con una longitud  $\geq$  de 1 cm (Rooke et ál. 2004). Con el propósito de evitar confusiones entre las edades de rebrote, estos fueron señalizados con cintas adhesivas de color. Para el primer mes se utilizó cinta amarilla, segundo mes cinta blanca, tercer mes cinta azul y finalmente para el cuarto mes cinta roja (Figura 3).



**Figura 3.** Ubicación de rebrotes según posición en el árbol para seis especies forrajeras arbustivas en potrero para el trópico seco Nicaragua. a) Tercer tercio árbol (T), b) Segundo tercio árbol (I), c) Primer tercio árbol (B).

2. Capacidad hojearo intensidad (leafing intensity). Se seleccionaron tres rebrotes por individuo al final de la cosecha con buenas condiciones de vigorosidad, sin presencia de defoliación en su yema terminal, no productivos (flores o frutos) y ubicados en el tercer tercio (T) del árbol, esto con el fin de minimizar los efectos potenciales de la variación de la plasticidad por sombra (Kleiman y Aarssen 2007). Cada uno de los tres rebrotes fueron medidos en sus rasgos funcionales: longitud de rebrotes (cm) y diámetro de la base, medio y final del rebrote (mm)

del tallo principal y número de hojas de toda la estructura del rebrote (incluyendo las hojas faltantes visibles por las cicatrices) (Kleiman y Aarssen 2007; Yang 2009; Milla 2009). Una vez estimado el volumen, las hojas del tallo principal fueron pesadas inicialmente y posteriormente las presentes en las ramas adjuntas (1°, 2°, 3°, 4° y 5°).

Los datos de los rasgos de rama fueron transformados a  $\log^{10}$  para facilitar su análisis entre las especies. Para describir rasgos relacionados con la capacidad de rebrote de las especies se utilizaron gráficos de cajas (*box-plot*) y regresiones lineales simples.

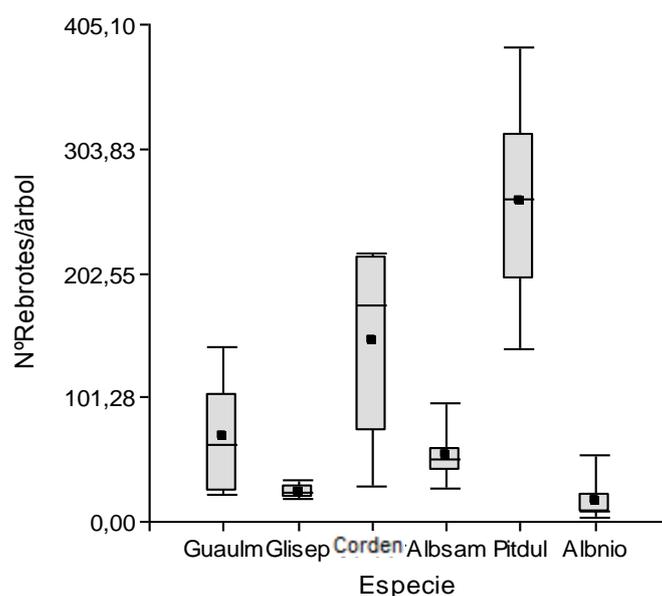
3. El AFE se estimó mediante el muestreo de cuatro hojas/árbol con seis repeticiones por especie, en buenas condiciones de vigorosidad y desarrollo (Cornelissen 2003), estas muestras fueron llevadas a laboratorio, donde fueron pesadas en fresco (gr), escaneadas para estimar su AF en ( $\text{mm}^2$ ) y llevadas al horno a temperatura constante  $60^\circ\text{C}$  durante 72 horas hasta lograr su peso seco (gr), posteriormente fueron pesadas y se estimó su AFE ( $\text{mg mm}^{-1}$ ).
4. Producción de biomasa. Se cosecharon todos los rebrotes con edad de cuatro meses entre los meses de agosto y septiembre. Los rebrotes se dividieron en cuatro fracciones; Fracción fina (Hojas (HF) y Tallos (TF) con diámetro menor a 5 mm) y Fracción gruesa (Hojas (HG) y Tallos (TG) mayores a 5 mm) (Rodríguez et ál. 2001). Posteriormente se estimó la biomasa comestible mediante la suma de las fracciones HF, TF y HG, y la biomasa total mediante el complemento de la HF,TF,HG y TG (Pérez 2012; Rodríguez et ál. 2001).

En la cosecha de la materia en fresco se pesaron toda las fracciones: fina (hojas y tallos) y gruesa (hojas y tallos) por separado, posteriormente se tomó una muestra compuestas de 200 g para cada fracción y se cuantifico su contenido de materia seca, mediante temperatura constante  $60^\circ\text{C}$  durante 72 horas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Evaluación de la capacidad de rebrote de especies leñosas forrajeras en potrero

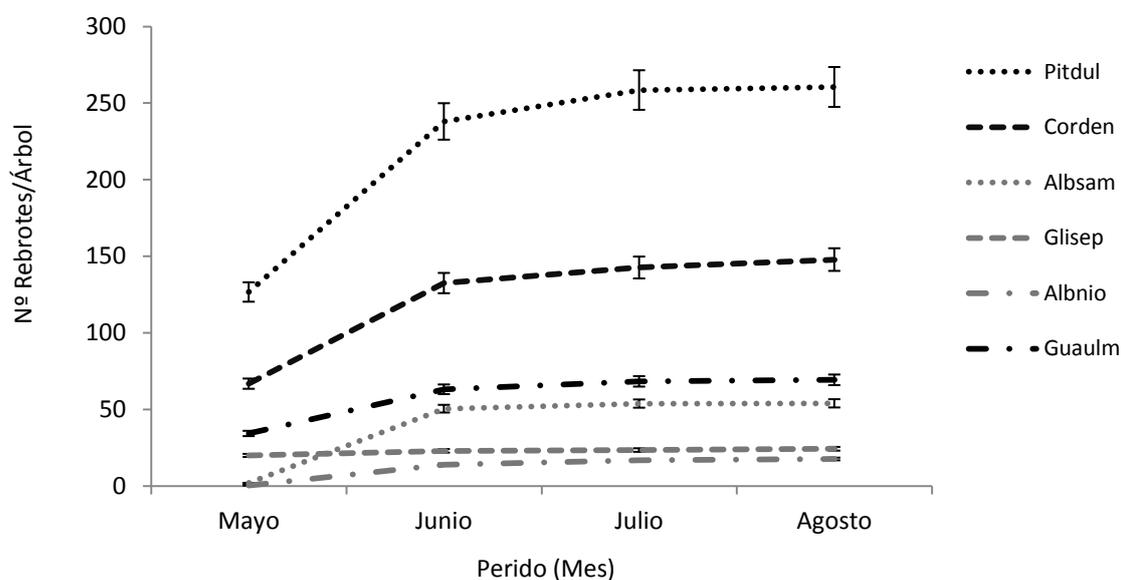
La producción promedio de rebrotes (Rbt) durante un periodo de cuatro meses muestra diferencias entre las especies con respecto a su producción de rebrotes siendo las especies con mayor productividad *Pithecellobium dulce* y *Cordia dentata* con 260.5 (Rbt) y 147.83 (Rbt) respectivamente, seguido de *Guazuma ulmifolia* 69 (Rbt) y *Albizia saman* 54 (Rbt), finalmente las especies *Gliricidia sepium* 24.33 (Rbt) y *Albizia niopoides* 17.33 (Rbt) mostraron los valores más bajos de productividad. Las especies *Albizia niopoides* y *Albizia saman* iniciaron la producción de rebrotes en el segundo periodo de muestreo (mes dos). *Albizia saman* mejoró su producción de rebrotes en los meses posteriores (Figura 4).



**Figura 4.** Producción promedio de rebrotes 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* (Albno). El gráfico de cajas (*box-plot*) muestra los percentiles 0,25, 0,5 (mediana) y 0,75. Y valores extremos en los percentiles 0,05 y 0,95.

#### 4.1.1 Curva acumulada de rebrotes por individuo para especies leñosas forrajeras en potrero

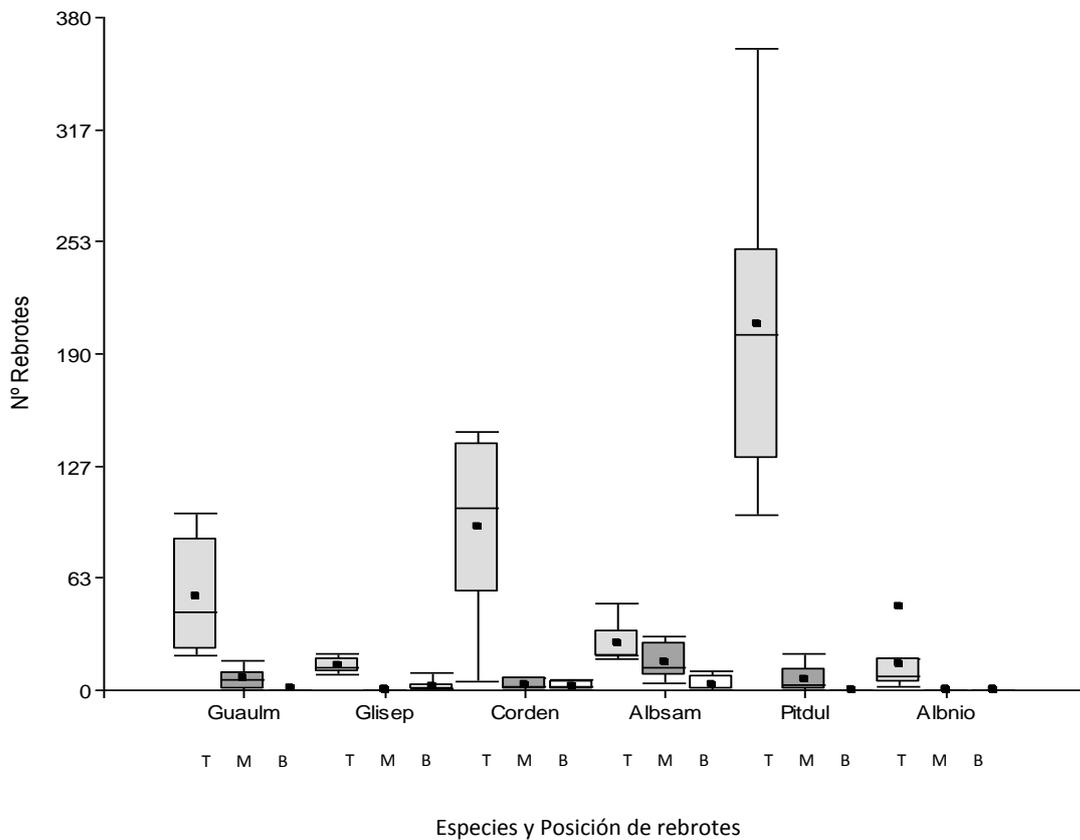
Para las especies *Pithecellobium dulce*, *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium* y *Cordia dentata*, se dispara la producción de rebrotes de manera significativa durante los dos primeros meses, tendencia que disminuye en el tercer y cuarto mes. Para *Pithecellobium dulce* y *Cordia dentata* se observó una reducción en la producción de rebrotes en el tercer mes de 81% y 84% respectivamente con respecto al mes anterior (mes dos), las especies *Gliricidia sepium* y *Guazuma ulmifolia* muestran similar tendencia 83% y 82% en su orden. Las especies *Albizia niopoides* y *Albizia saman* iniciaron su producción de rebrotes durante el segundo mes muestreo durante (época de lluvia), sin embargo se apreció una tendencia en su reducción de rebrotes en el siguiente mes (mes tres) del 79% y 93% respectivamente (Figura 5). Esto puede deberse a una menor reservas de carbohidratos acumulados en las raíces o una estrategia de la planta para destinar sus recursos a los rebrotes ya establecidos.



**Figura 5.** Curva acumulada del número de rebrotes por individuo 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).

#### 4.1.2 Distribución de rebrotes en especies leñosas forrajeras en potrero

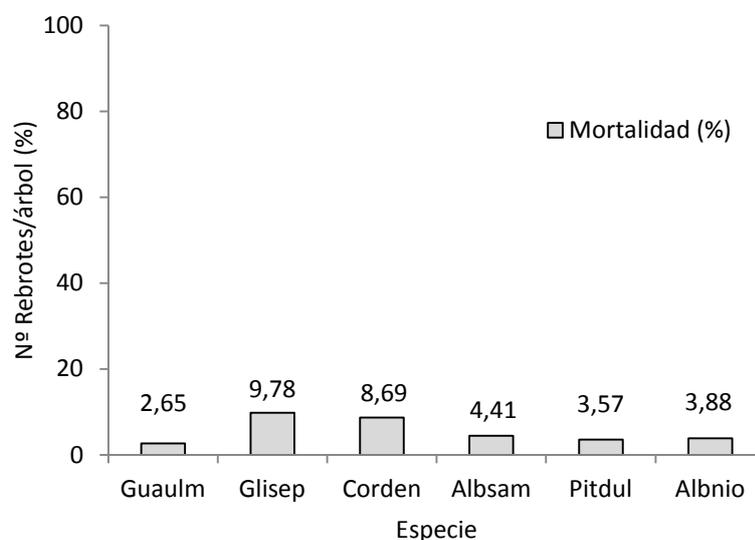
En general las especies muestran diferencias entre su producción de rebrotes con respecto a su ubicación en el árbol, siendo la ubicación más importante el tercer tercio (T) con el 91 % del total de rebrotes para las seis especies, seguido del segundo tercio con 7.05 % y finalmente el primer tercio (B) con el 1.95 %. Se aprecia que las especies con mejor distribución de rebrotes en el tallo corresponden a *Albizia saman* (T) 58.46%; (M) 34.56%; (B) 6.99% y *Cordia dentata* (T) 94.51%; (M) 3.09%; (B) 2.40% respectivamente (Figura 6).



**Figura 6.** Número de rebrotes en el tallo 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* (Albno). El gráfico de cajas (*box-plot*) muestra los percentiles 0.25, 0.5 (mediana) y 0.75. Y valores extremos en los percentiles 0.05 y 0.95. Tercer tercio (T); Segundo tercio (M); Primer tercio (B).

### 4.1.3 Mortalidad de rebrotes para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.

Al relacionar el número de rebrotes cosechados contra el número de rebrotes monitoreados durante cuatro meses se estimó la tasa de mortalidad de rebrotes por individuo para cada una de las especies. Las especies con mayor mortalidad de rebrotes/árbol fueron *Cordia dentata*  $50.67 \pm 12.08$  y *Phitecellobium dulce*  $46 \pm 10.64$  Rbt, mientras que las demás especies *Guazuma ulmifolia*  $14 \pm 6,23$  Rbt, *Albizia saman*  $11.17 \pm 3.31$  Rbt; *Gliricidia sepium*  $9 \pm 1.57$  Rbt y *Albizia niopoides*  $3.17 \pm 0.83$  Rbt no mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) (Figura 7). Esta pérdida de rebrotes en *Gliricidia sepium* se hace elevada considerando la reducida producción de rebrotes durante el periodo de estudio, este fenómeno puede deberse al resultado de la herbivoría (insectos) que inició con la época lluviosa y se mantuvo hasta el final del muestreo. Mientras que para *Cordia dentata* es más visible el efecto de una posición jerárquica de los primeros rebrotes sobre los generados en meses posteriores, impidiendo que los rebrotes jóvenes se desarrollen e incluso mueran.



**Figura 7.** Porcentaje de mortalidad (rebotes/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* (Albno).

## 4.2 Evaluación de rasgos funcionales asociados a la capacidad de rebrote para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

Entre los rasgos de los rebrotes se aprecian relaciones positivas. El rasgo diámetro de la base (DBASE) presenta una correlación positiva con volumen (VOL), número total de ramas (TR), número total hojas rama (THR), total área foliar (TAF) y total área foliar específica (TAFE) respectivamente con ( $p < 0,05$ ), siendo el DBASE el rasgo que mejor explica la productividad de los rebrotes. También se aprecia una correlación positiva entre VOL y los rasgos foliares TAF ( $r^2 = 0.883$ ) y TAFE ( $r^2 = 0.48$ ;  $p < 0.05$ ) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Correlaciones de rasgos de rebrotes para seis especie forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.

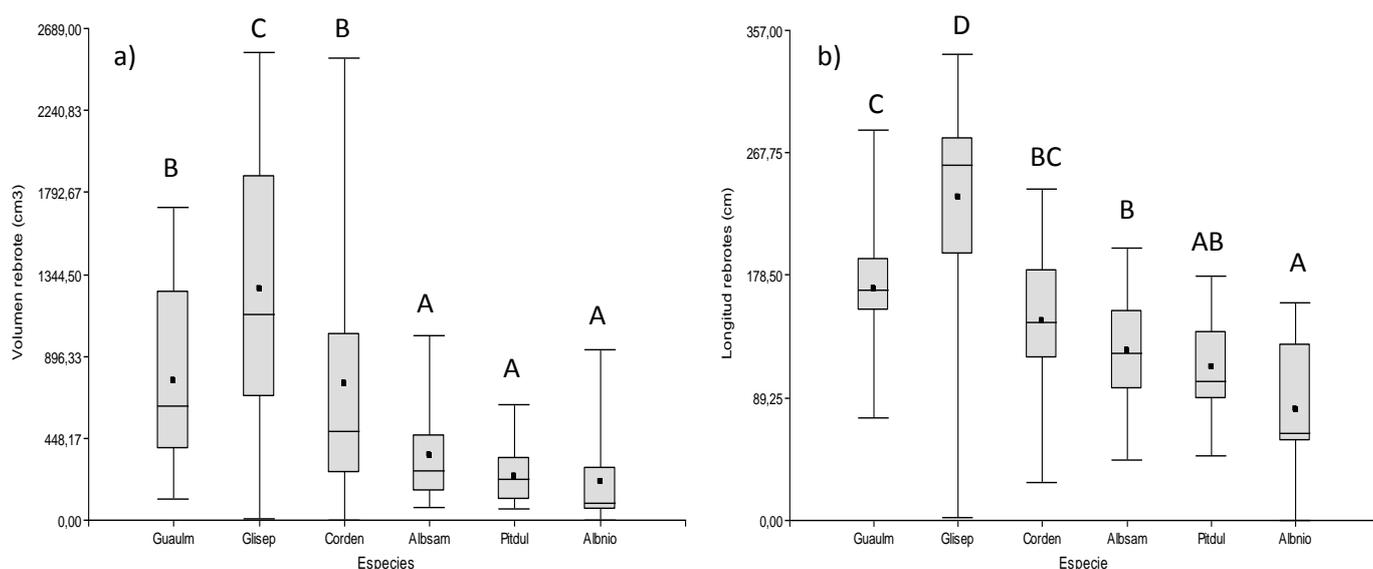
|                  | LONG | DBASE | VOL         | TR          | THR         | TH          | TAF         | TAFE        | H(mgMS) |
|------------------|------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| <b>LONG **</b>   |      | 0.74  | 0.85        |             | 0.2         | 0.25        | 0.28        | 0.3         | 0.44    |
| <b>DABSE **</b>  |      |       | <b>0.88</b> | <b>0.51</b> | <b>0.52</b> | <b>0.55</b> | <b>0.54</b> | <b>0.58</b> | 0       |
| <b>VOL **</b>    |      |       |             | 0.35        | 0.39        | 0.42        | 0.49        | 0.48        | 0.56    |
| <b>TR **</b>     |      |       |             |             | 0           | 0           | 0           | 0           | 0       |
| <b>THR **</b>    |      |       |             |             |             | 0           | 0           | 0           | 0       |
| <b>TH **</b>     |      |       |             |             |             |             | 0           | 0           | 0       |
| <b>TAF **</b>    |      |       |             |             |             |             |             | 0           | 0       |
| <b>TAFE **</b>   |      |       |             |             |             |             |             |             | 0       |
| <b>H(mgMS)**</b> |      |       |             |             |             |             |             |             |         |

\*\* ( $p < 0.05$ ); Longitud (Long), Diámetro base (Dbase); Número total ramas (2°,3°,4°,5°) (TR); Número Total Hojas ramas (2°,3°,4°,5°) (THR); Número Total Hojas del rebrote (TH); Volumen rebrote (Vol) y Materia seca hojas rebrote H (mgMS), Área foliar específica del rebrote (TAFE) y área foliar del rebrote (TAF mm<sup>2</sup>).

### 4.2.1 Rasgos funcionales en rebrotes para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

El volumen medio para rebrotes de cuatro meses de edad muestra que la especie *Gliricidia sepium* ( $1261.09 \pm 165.05 \text{ cm}^3$ ) presente el mayor volumen, seguido de *Guazuma ulmifolia*  $761,65 \pm 125.18 \text{ cm}^3$  y *Cordia dentata*  $747,80 \pm 160.67 \text{ cm}^3$  (Figura 8 a). Las demás especies *Albizia saman*, *Pithecellobium dulce* y *Albizia niopoides* no

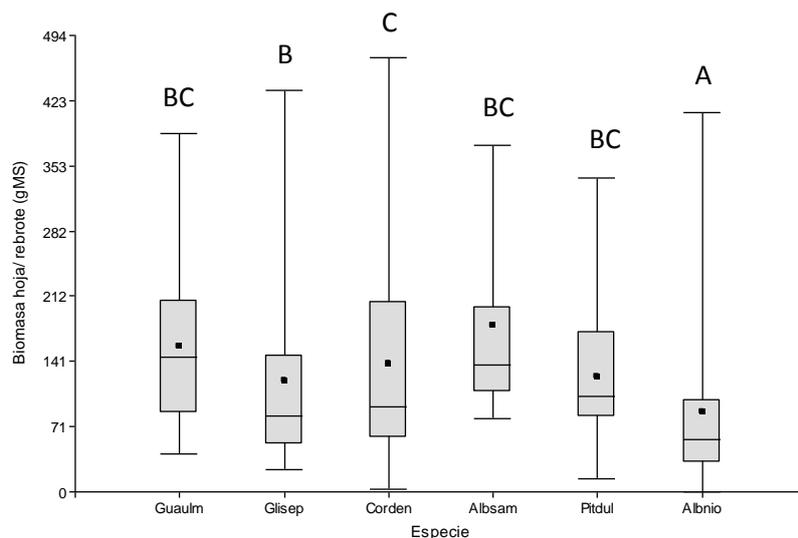
mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). Para la longitud media por rebrotes se observó una relación directamente proporcional a su volumen, siendo las especies de mayor longitud (cm); *Gliricidia sepium*  $235.68 \pm 18.43$  cm; *Guazuma ulmifolia*  $168.92 \pm 10.95$  cm y *Cordia dentata*  $145.06 \pm 12.38$  cm (Figura 8 b), Las especies *Albizia saman* y *Pithecellobium dulce* no mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) mientras que *Albizia niopoides*  $84.86 \pm 9.37$  cm presenta el valor más bajo en longitud.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

**Figura 8.** Volumen (a) y longitud (b) de rebrotes 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* (Albno). El gráfico de cajas (*box-plot*) muestra los percentiles 0.25, 0.5 (mediana) y 0.75. Y valores extremos en los percentiles 0.05 y 0.95

La producción promedio de biomasa de hojas por rebrote es mayor para las especies *Guazuma ulmifolia*  $157.13 \pm 20.29$  g MS; *Cordia dentata*  $155.18 \pm 27.75$  g MS y *Albizia saman*  $138.39 \pm 18.60$  g MS; mientras, que las demás especies no mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) a excepción de *Albizia niopoides* que tuvo la más baja productividad del grupo de las seis especies ( $27.55 \pm 6.77$  g MS) (Figura 9).

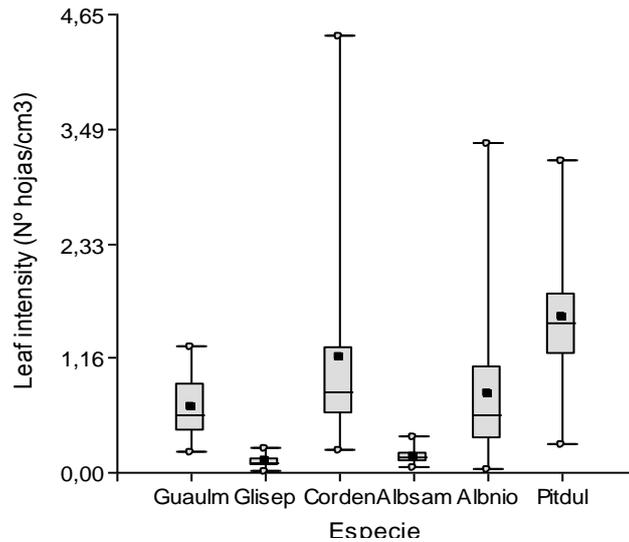


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

**Figura 9.** Producción promedio de biomasa de hojas por rebrote 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* (Albno). El gráfico de cajas (*box-plot*) muestra los percentiles 0.25, 0.5 (mediana) y 0.75. Y valores extremos en los percentiles 0.05 y 0.95 para la biomasa de hojas/rebrote (gMS).

#### 4.2.2 Leaf intensity (hojeando intensidad) para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

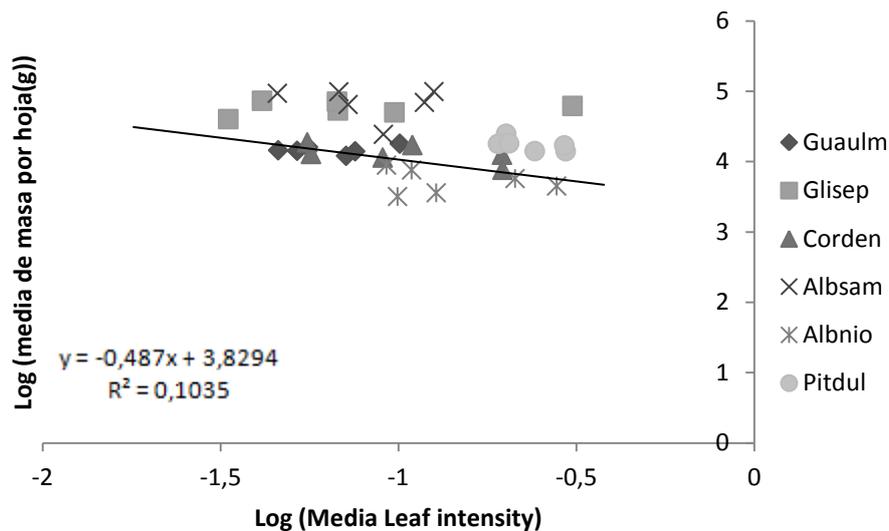
Las especies con mayor leaf intensity ( $N^{\circ}$  hojas/cm<sup>3</sup>) fueron a *Pithecellobium dulce*  $1.57 \pm 0.19$ ; *Cordia dentata*  $1.17 \pm 0.24$ ; *Albizia niopoides*  $0.80 \pm 0.18$  y *Guazuma ulmifolia*  $0.65 \pm 0.07$ . Mientras que las especies *Albizia saman* y *Gliricidia sepium* presentaron la relación más baja (Figura 10) esto puede deberse a un mayor uso de reservas de la planta en la formación de tallos con respecto a las hojas.



**Figura 10.** Leafing intensity (Hojeando Intensidad) 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) del trópico seco de Nicaragua. El gráfico de cajas (*box-plot*) muestra los percentiles 0.25, 0.5 (mediana) y 0.75. Y valores extremos en los percentiles 0.05 y 0.95.

#### 4.2.3 Relación masa de hojas individuales y Leaf intensity para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

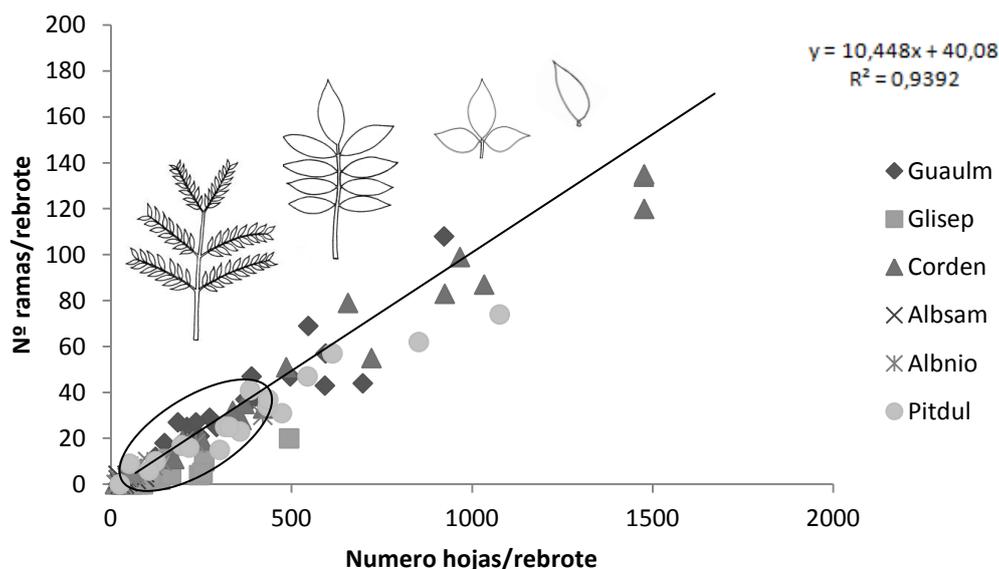
El análisis de regresión lineal simple entre las variables; log de la media de masa por hoja (g) y el log de la media de hojeando intensidad para el conjunto de las seis especies no mostró relación significativa ( $r^2=0.1035$ ;  $p<0.05$ ) indicando que la variación de la masa de hojas individuales a través de las especies no puede ser explicada por la variación en la intensidad de hojear, es decir, el número de hojas producidas por unidad de volumen, por lo que no existe isometría para esta relación (Figura 11).



**Figura 11.** Relación entre la media de la masa de hojas individuales y (media de leaf intensity intensidad) 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).

#### 4.2.4 Relación número de hojas y numero ramas para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

Las especies con mayor número de hojas/rebrote fueron: *Cordia dentata*  $641.11 \pm 113.21$ , *Guazuma ulmifolia*  $396.72 \pm 50.12$ , *Pithecellobium dulce*  $380.33 \pm 64.02$ , seguido *Gliricidia sepium*  $136.89 \pm 27.31$  y finalmente *Albizia niopoides*  $93.38 \pm 22.96$  y *Albizia saman*  $44.89 \pm 6.03$ . La regresión lineal simple mostró que la variable número de hojas/rebrote explica en un 93% la variabilidad de los datos en el número de ramas/rebrote ( $2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ$ ) ( $y=10.448x + 40.08$ ;  $r^2=0.9392$ ) para el conjunto de las especies; es decir, que por cada 100 hojas existe la probabilidad que se formen 7 ramitas. Sin embargo al observar cómo se dispersan las especie sobre el grafico (Figura 12), se aprecia que las especies con mayor área foliar (AF) *Albizia saman*  $32561.3$  mm (Olivero 2010), *Gliricidia sepium*  $16390.3$  mm y *Albizia niopoides*  $6320.6$  mm (Sánchez 2010) se agrupan en la parte inferior izquierda (menor número de hojas = menor número ramitas), mientras que *Cordia dentata*  $4212.19$  mm y *Pithecellobium dulce*  $4191.72$  mm, se distribuyen sobre todo el grafico.



**Figura 12.** Relación entre el número de hojas y numero 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).

### 4.3 Producción de biomasa para seis especies leñosas forrajeras en potrero del trópico seco de Rivas Nicaragua

La producción de biomasa comestible (BMC) presenta una correlación positiva con el DAP, AB, DAC y N° Rbt mostrando valores de (0.52; 0.35; 0.41 y 0.31;  $p < 0.05$ ). y para BMT de (0.42; 0.28; 0.37 y 0.23) respectivamente ( $p < 0,05$ ) Siendo el DAP la variable que mejor explica la productividad de BMC y BMT (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Correlaciones productividad de biomasa para seis especies forrajeras arbustivas en potrero del trópico seco de Nicaragua.

|          | BMT | BMC     | AB      | DAP     | DAC     | N°Rbt   |
|----------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| BMT **   |     | 0.95 ** | 0.28    | 0.42 ** | 0.37 ** | 0.23    |
| BMC **   |     |         | 0.35 ** | 0.52 ** | 0.41 ** | 0.31 ** |
| AB **    |     |         |         | 0.93 ** | 0.85 ** | 0.12    |
| DAP **   |     |         |         |         | 0.89 ** | 0.18    |
| DAC **   |     |         |         |         |         | 0.12    |
| N°Rbt ** |     |         |         |         |         |         |

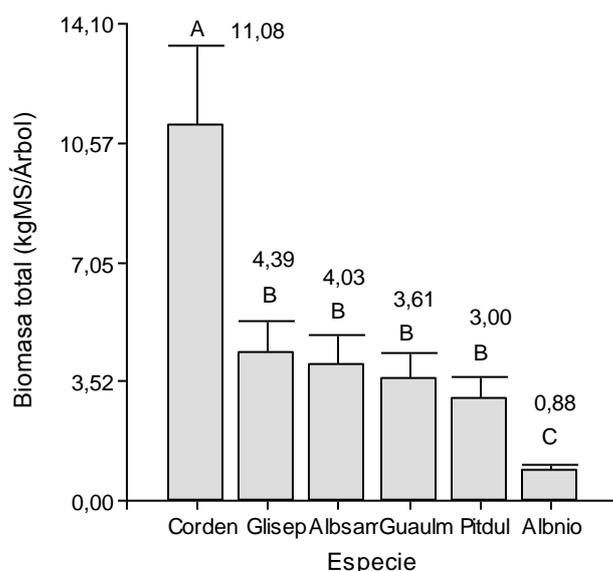
\*\* ( $p < 0,05$ ); Biomasa Total (BMT) gMS; Biomasa Comestible (BMC) gMS; Área Basal (AB); Diámetro a la altura el pecho (DAP); Diámetro Altura de Corte (DAC); Número Total de Rebrotos (N°Rbt).

### 4.3.1 Producción de biomasa total para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

El mayor número rebrotes promedio por árbol para la edad de cosecha de cuatro meses fue; *Pithecellobium dulce*  $214.5 \pm 38.6$ ; *Cordia dentata*  $97.17 \pm 22.1$ ; *Guazuma ulmifolia*  $59.83 \pm 14.41$  y *Albizia saman*  $45.33 \pm 5.57$ ; mientras que *Gliricidia sepium*  $15.33 \pm 2.33$  y *Albizia niopoides*  $14.33 \pm 6.91$  presentaron la más baja productividad.

Una vez determinado la variable del árbol, que mejor explica la productividad de biomasa total, se realizó una ANOVA con la covariable DAP, mediante el uso de modelos lineales, generales y mixtos, en cual se ejecutaron diferentes pruebas de heteroscedasticidad hasta lograr cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, por lo que se determinó que el modelo de mayor ajuste correspondió a *varPower* ( $p < 0.0001$ ).

La producción de BMT (kgMS/Árbol) presentó diferencias ( $p < 0.05$ ) entre las especies arbóreas forrajeras. La mayor producción biomasa total correspondió a *Cordia dentata*  $11.08 \pm 2.38$  (KgMS) siendo la especie más sobresaliente del conjunto de las seis forrajeras, mientras que *Albizia niopoides*  $0.88 \pm 0.19$  fue la de menor producción (Figura 13).



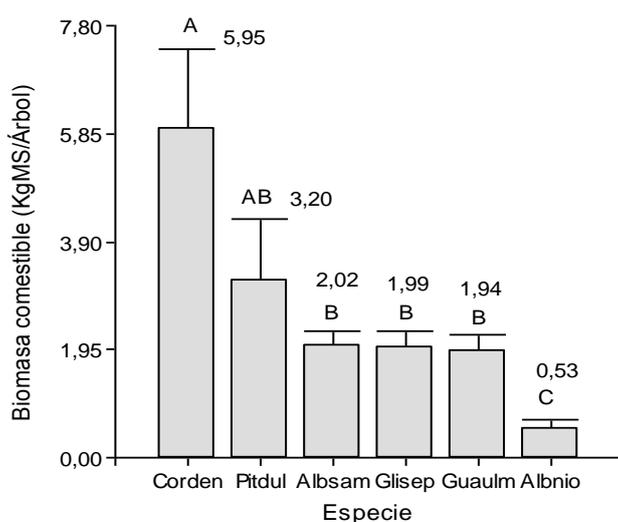
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

**Figura 13.** Producción de biomasa total 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). La prueba se realizó mediante el modelo VarPower ( $p < 0,0001$ ) de modelos lineales, generales y mixtos.

### 4.3.2 Producción de biomasa comestible para seis especies leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Rivas Nicaragua

Determinada la variable DAP como variable explicativa de la producción de BMC se realizó una ANOVA con la covariable DAP, mediante el uso de modelos lineales, generales y mixtos, donde se ejecutaron diferentes pruebas de heteroscedasticidad cumpliendo con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, por lo que se determinó que el modelo de mayor ajuste correspondió a *varExp* ( $p < 0.0001$ ).

La producción de biomasa comestible (KgMS/árbol) presentó diferencias ( $p < 0.05$ ) entre las especies arbóreas forrajeras. Siendo la especie de mayor productividad de biomasa comestible *Cordia dentata* con  $5.95 \pm 1.43$  KgMS seguido de *Pithecellobium dulce*  $3.20 \pm 1.12$  KgMS. Mientras *Albizia saman*; *Gliricidia sepium* y *Guazuma ulmifolia* no mostraron diferencias estadística y finalmente *Albizia niopoides* presentó los valores más bajos de productividad (Figura 14).

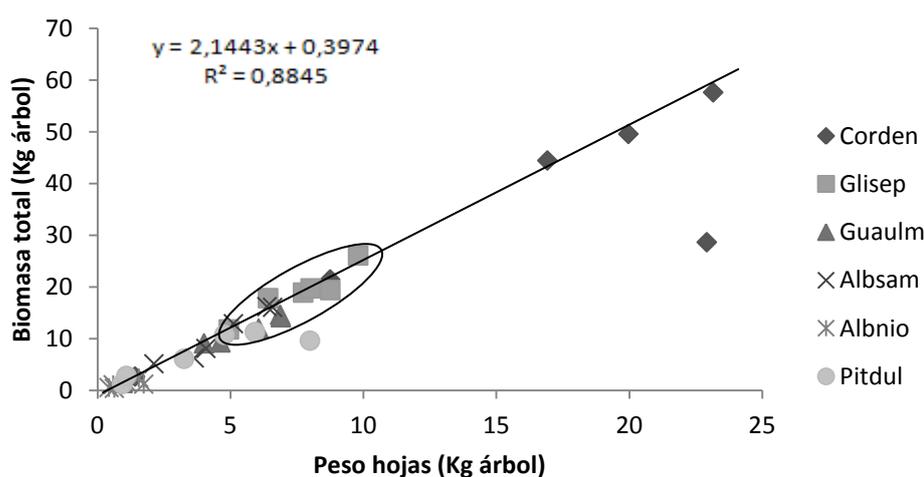


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

**Figura 14.** Producción de biomasa comestible 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) del trópico seco de Nicaragua. La prueba se realizó mediante el modelo Var Exp ( $p < 0,0001$ ) de modelos lineales, generales y mixtos.

### 4.3.3 Proporción de masa foliar (PMF) para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

La proporción de masa foliar (PFM) definida como la fracción del total de biomasa que la planta distribuye a hojas; es decir su medida de inversión en órganos fotosintéticos muestra una relación positiva entre la biomasa de las hojas (KgMs/árbol) y la biomasa total del rebrote (tallos y hojas) explicando en un  $r^2 = 0,88$ ;  $p < 0,05$  el crecimiento de rebotes. Es decir que las especies con mayor producción de biomasa foliar presentan la mayor proporción de tallos (figura 15), esto supone que especies más productivas en términos de biomasa de hojas proporcionan mayor producción de estructuras de soporte (tallos adjunto al tallo principal) debido a una mayor eficiencia fotosintética (Poorter 1989; Hunt et ál. 2002). Además se puede apreciar que las especies con hojas más pequeñas se distribuyen sobre toda la línea de tendencia, por ejemplo *Cordia dentata*, *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia*, mientras que las especies de mayor AF se agrupan sobre un tramo de la línea de tendencia como es caso de *Gliricidia sepium*, *Albizia saman* y *Albizia niopoides*.



**Figura 15.** Proporción masa foliar 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) del trópico seco de Nicaragua.

#### 4.3.4 Relación Hoja – Tallo para la biomasa total en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

La relación hoja – tallo (promedio), muestra que las especies de mejor proporción corresponde a *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia* 1.41 y 1.27 respectivamente, mientras que los valores más bajos los presentaron *Cordia dentata* 0.94, *Albizia saman* 0.89 y *Gliricidia sepium* 0.86 (Cuadro 5). Sin embargo una prueba de ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las especies ( $P < 0.05$ ).

**Cuadro 5.** Relación hoja – tallo (KgMS) para la biomasa total en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.

| Especie                     | Hojas (%) | Tallo (%) | Relación Hoja – Tallo |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------------|
| <i>Cordia dentata</i>       | 48,66     | 51,34     | 0,94                  |
| <i>Gliricidia sepium</i>    | 46,31     | 53,69     | 0,86                  |
| <i>Guazuma ulmifolia</i>    | 56,00     | 44,00     | 1,27                  |
| <i>Albizia saman</i>        | 47,14     | 52,86     | 0,89                  |
| <i>Albizia niopoides</i>    | 51,50     | 48,50     | 1,06                  |
| <i>Pithecellobium dulce</i> | 58,66     | 41,34     | 1,41                  |
| E.E                         | 1,91      | 1,91      | 0,15                  |

#### 4.3.5 Porcentaje de fracciones fina y gruesa en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

Las especies con mayor aporte de fracciones en biomasa comestibles fueron; *Pithecellobium dulce* 69.5%, *Albizian niopoides* 58.9 %, *Guazuma ulmifolia* 54.5 % y *Cordia dentata* 52.4%, mientras que *Gliricidia sepium* 46.8% presentó el menor aporte para el grupo de las seis especies (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Porcentaje de fracciones (KgMS) para la biomasa total en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua.

| <b>Especie</b>              | <b>Fracción Fina</b> |               | <b>Fracción Gruesa</b> |               | <b>Total</b> |
|-----------------------------|----------------------|---------------|------------------------|---------------|--------------|
|                             | <b>HF (%)</b>        | <b>TF (%)</b> | <b>HG (%)</b>          | <b>TG (%)</b> |              |
| <i>Cordia dentata</i>       | 29,8                 | 7,7           | 14,9                   | 47,6          | 100          |
| <i>Gliricidia sepium</i>    | 3,5                  | 0,5           | 42,8                   | 53,2          | 100          |
| <i>Guazuma ulmifolia</i>    | 4,2                  | 0,6           | 49,7                   | 45,5          | 100          |
| <i>Albizia saman</i>        | 17,6                 | 5,8           | 27,1                   | 49,5          | 100          |
| <i>Albizia niopoides</i>    | 28,9                 | 7,8           | 22,2                   | 41,1          | 100          |
| <i>Pithecellobium dulce</i> | 35,4                 | 10,9          | 23,2                   | 30,5          | 100          |

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Rasgos funcionales asociados a la capacidad de rebrote en seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua

La respuesta a la capacidad de rebrote es diferente entre las especies, siendo *Pithecellobium dulce* la especie con mayor producción de rebrotes, seguido de *Cordia dentata* (Borraginaceae) y *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae). Además se aprecia que la producción de rebrotes desciende con el aumento de la edad de poda, siendo el primer y segundo mes el de mayor producción. Esta respuesta a la producción de rebrotes en el primer mes (periodo seco) puede deberse a las concentraciones de carbohidratos que suelen ser más altas a principios de la época seca (Morales et al, 1992 García et ál 2001; Kabeya et ál. 2003) y en el segundo mes, a la variación de reservas de hidratos de carbono en función a la disponibilidad de recursos en el suelo (Sakai y Sakai 1998; Van Der Heyden y Stock 1995; Hrabar 2009), en este sentido las especies *Albizia saman* y *Albizia niopoides* parecen usar esta ultima estrategia en su producción de rebrotes, debido a que iniciaron dicha producción coincidentalmente en la época lluviosa.

Con respecto al análisis de varianza y correlaciones entre los rasgos funcionales asociados a los rebrotes se aprecian que el rasgo foliar que mejor se asocia a la capacidad de rebrote corresponde al área foliar (AF) siendo las especies de menor tamaño de hoja quienes presentan la mayor capacidad de rebrote, mayor número de hojas y mayor producción de biomasa foliar. Las especies *Pithecellobium dulce*, *Cordia dentata* y *Guazuma ulmifolia* mostraron el menor área foliar: 4171.9 mm<sup>2</sup>; 4212.1 mm<sup>2</sup> y 4968.6 mm<sup>2</sup> respectivamente, con respecto al grupo de las seis especies. Esta condición de mayor capacidad de rebrote se explica por los beneficios de hojas más pequeñas, las cuales presentan una mayor eficiencia en el uso del agua (Dudley 1996), en el uso de los recursos disponibles en el ambiente e intercambio de carbono (Poorter et ál. 2009), mayores contenidos de nitrógeno foliar por unidad de masa seca favoreciendo la capacidad fotosintética (Niinemets et ál. 2006), mayor capacidad de intercambio de calor, considerado ventajoso en climas calientes, ambientes seco, altos y bajos entornos de nutrientes (Gates 1980; Dudley 1996; Ackerly et ál. 2002; Bragg y

Westoby 2002; MacDonald et ál. 2003) Además, se asocian con la reducción del tiempo de expansión de la hoja y la reducción por pérdidas en herbivoría (Moles y Westoby 2000).

Esto supone que una planta con mayor producción de tejido foliar tendrá un crecimiento más rápido y mayor eficiencia fotosintética (Villar et ál. 2004). Algunas investigaciones han encontrado correlaciones positivas entre las tasas de crecimiento relativo (RGR) y la proporción de hojas (Cornelissen et ál. 1996; Wright y Westoby 2000; Antúnez et ál. 2001) y por otro lado negativas con respecto a la proporción de tallos y raíces (Villar et ál. 2004).

Con respecto al área foliar específica (AFE) para nuestro estudio no se observan relaciones significativas entre AFE y la productividad en términos de número de rebrotes, por ejemplo las especies con mayor AFE *Albizia nipoides* 18.6 mm<sup>2</sup> mg<sup>-1</sup> (Sánchez 2011) y *Gliricidia sepium* 15.1 mm<sup>2</sup> mg<sup>-1</sup> (Sánchez 2011) presentaron la productividad más baja en número de rebrotes 17.3 Rbt/árbol y 24.3 Rbt/árbol respectivamente, contrastando con lo observado en *Cordia dentata* quien posee similar AFE 14.7 mm<sup>2</sup> mg<sup>-1</sup> pero una producción de rebrotes muy superior 147.8 Rbt/árbol, mientras que en términos de producción de biomasa foliar para estas mismas dos especies *Gliricidia sepium* ocupa el segundo lugar con 7.9 Kg/árbol y *Albizia nipoides* el último con 1.01 Kg/árbol, contrastando nuevamente con *Cordia dentata* 15.52 Kg/árbol siendo esta la de mayor productividad de las seis especies. Los anteriores resultados sugieren que el AFE no necesariamente es un rasgo explicativo en la capacidad de rebrote y en la producción de biomasa foliar, sin embargo algunos autores como Villar et ál. (2004) reportan que el área foliar específica (AFE) explica hasta en un  $r^2 = 0.8$ ;  $p < 0.001$  la tasa de crecimiento relativo (RGR) en 24 especies leñosas; Poorter (1989) y Garnier y Laurent (1994) resalta su importancia en el crecimiento de plantas herbáceas y Reich et ál. (1992); Cornelissen et ál. (1996); Antúnez et ál. (2001) en especies leñosas.

Por otro lado es importante mencionar que la capacidad de rebrote está asociada a otros rasgos funcionales de la planta, diferentes a los morfológicos, por ejemplo; altas concentraciones de proteínas y minerales en las hojas se relacionan positivamente con el crecimiento, mientras que altos contenidos de hemicelulosa y lignina se relacionan

negativamente (Poorter y Bergkotte 1992), además de otras categorías químicas como el almacenamiento de carbohidratos en raíces secundarias y estructurales donde las plantas movilizan sus **reservas de carbohidratos** para reconstruir su tejido fotosintético después de la pérdida temporal de follaje (Latt et ál. 1998), estas reservas provienen de la acumulación de nutrientes, almidón, azúcares y otras reservas de energía solubles en raíces y tallos que determinan la supervivencia de la planta (Stur et ál. 1994; Canham et ál. 1999; Sakai y Sakai 1998; Berninger et ál. 2000; Latt et ál. 2000; García et ál. 2001; Kabeya et ál. 2003; Kabeya y Sakai 2005).

Por otro lado, las plantas sufren un efecto de poda sobre la producción de biomasa bajo el suelo reduciendo el **crecimiento de raíces finas y estructurales**, con el consecuente agotamiento de las reservas de carbohidratos (Canham et ál. 1999; Wildy y Pate 2002), siendo el **sistema de raíces** determinante para el almacenamiento de las reservas de carbohidratos (Barnes. 1998; Latt et ál. 1999; Latt et ál. 2000; García et ál. 2001; Larbi et ál. 2000; Larbi et ál. 2005), en especial en épocas de intensa sequía donde la demanda de agua y nutrientes es elevada, y la asignación de estas reservas en la biomasa de las raíces estructurales desempeñan un papel significativo en la sobrevivencia de los rebrotes (Sipe y Bazzaz. 1994; Hrabar 2009).

Otro elemento a considerar en la capacidad de rebrote de las especies está relacionado con la **altura y frecuencia de poda** que para nuestro estudio, no es tan perceptible, debido a que las especies no fueron sometidas a diferentes alturas y frecuencias de poda, sin embargo este manejo se relaciona directamente con las reservas de carbohidratos, presencia de raíces secundarias y estructurales, y la capacidad de las yemas residuales de regenerarse (Stur et ál. 1994; Barnes 1998; Latt 2000; García et ál. 2000; Larbi et ál. 2001; Larbi et ál. 2005; Mostacedo et ál. 2008). Algunas investigaciones con *Gliricidia sepium* y *Albizia niopoides* han determinado que alturas de poda muy sobre el nivel de suelo y periodos cortos de cosecha representan una menor productividad en términos de KgMs ha<sup>-1</sup> (García 2001; Latt 2000; Larbi et ál. 2005).

Desde el punto de capacidad de rebrote, las especies *Cordia dentata* y *Pithecellobium dulce* pueden jugar un rol importante en los intereses de los productores quienes conservan algunos de estos árboles dentro de sus potreros y con un manejo

sistemático de podas y una planificación silvopastoril pueden mejorar la disponibilidad de alimento para el ganado en términos de calidad y cantidad de forraje, y por consiguiente manteniendo los niveles de producción del ganado en las épocas más críticas del año.

## **5.2 Leaf intensity como rasgo funcional que explica la capacidad de rebrote para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua**

La evaluación entre el tamaño de las hojas/número de trade-off no mostró relación isométrica  $r^2 = 0.1035$ ;  $p < 0.001$  entre el grupo de especies forrajeras arbustivas, es decir; que hojeando intensidad (Nº hojas/cm<sup>3</sup>) no explica la varianza entre el tamaño de las hojas (Masa de hojas/Hojeando intensidad), esto indica que un aumento en el tamaño de las hojas no se relaciona con un menor número de hojas en el rebrote (Figura 10); sin embargo, este resultado puede deberse a que la relación se estimó considerando las hojas y volumen del tallo primario del rebrote (Nº las hojas adjuntas a las ramitas secundarias, terciarias, cuaternarias y quinquenarias, y sus correspondientes volúmenes) esto debido a problemas de logística que impidieron medir el volumen de la numerosa cantidad de ramitas asociadas al tallo primario, y sumado a una muestra reducida de especies forrajeras arbustivas, que no permiten apreciar con facilitan el trade off.

Los estudios actuales en leaf intensity no han dado prioridad a las especies tropicales, sino más bien, especies de zonas templadas de bosque caducifolios donde la intensidad de hojeado explica la variación en el tamaño de la hoja y la consecuente plasticidad de las especies como respuesta al ambiente (Kleiman y Aarssen 2007). Siendo este trade-off de alcance general, aunque se expone a escalas diferentes entre las especies de hoja perenne y caduca, sin embargo esta hipótesis (intensidad de hojeando) no puede ser apoyada en su totalidad por la falta de información (Milla 2009). Este cruce de rasgos han sido ampliamente utilizado para comprender aspectos ecológicos muy relevantes en la auto ecología de las especies y el funcionamiento del ecosistema (Westoboy et ál. 1995) por la relevancia del tamaño de la hoja y el número de ellas en compensación de un equilibrio del carbono a nivel de ecosistemas (Ogawa 2008). Sin embargo esta herramienta puede ampliarse en la comprensión de la capacidad de

regeneración de rebrotes y disponibilidad de forraje en especies arbóreas y arbustivas para alimentación animal, debió a que los beneficios de una mayor aptitud en hojearlo intensidad se asocia principalmente con los beneficios de un grupo más grande de meristemas laterales, ya que cada hoja se asocia generalmente con una yema axilar, proporcionando mayor facilidad para la plasticidad fenotípica en la asignación de estos meristemas (Kleiman y Aarssen 2007).

Esta plasticidad fenotípica en el uso de leñosas forrajeras en fincas ganaderas se traduce en una mayor capacidad de adaptación a entornos de baja disponibilidad de nutrientes y agua, además de una mayor capacidad de resistir el efecto de la poda, debido a un mayor número de bancos de meristemas que pueden aumentar la probabilidad de supervivencia de la planta y la disponibilidad de forraje. En este sentido una mejor comprensión de la plasticidad fenotípica de las especies forrajeras juega un rol importante en la búsqueda de nuevas especies con potencial forrajero, manejo agroecológico de las especies y disponibilidad de forraje en las cantidades requeridas por el productor según las necesidades del hato ganadero.

Partiendo del principio de plasticidad fenotípica propuesto por Kleiman y Aarssen (2007) y tratando de comprender cuáles de las especies forrajeras podrían mostrar una mayor plasticidad a la perturbación, la relación entre el número total de hojas presentes en los rebrotes (Reservas de meristemas) y la sumatoria del número de Ramitas secundarias, terciarias, cuaternarias y quinquenarias (yemas axiales) (Figura 11) mostro que el número de hojas en un rebrote explica en  $r^2 = 0.93$ ;  $p < 0.001$  la producción de ramitas adjuntas al tallo primario (yemas axiales) y al observar la distribución de las especies sobre la línea de tendencia, se aprecia que las especies con mayor Área Foliar (AF) se agrupan en la parte inferior, esto sugiere que un mayor AF se traduce en un menor número de hojas y un menor número de ramitas adjuntas al tallo principal, disminuyendo así el banco de meristemas (hojas) y la producción de yemas axiales (ramitas adjuntas al tallo primario), con la consecuente reducción en la plasticidad fenotípica de la especie (Kleiman y Aarssen 2007; Yang 2008; Milla 2009). En este sentido, las especies con una mayor capacidad en la producción de bancos de meristemas y mayor producción de yemas axiales y apicales corresponden a las que mejor se distribuyeron sobre toda la línea de tendencia *Cordia dentata*, *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia* siendo estas las especies de menor (AF) y mayor número de

hojas. Existe, por tanto, un compromiso para la planta entre una mayor asignación de biomasa a hojas, con la consecuente mayor capacidad para captar luz y dióxido de carbono favoreciendo su productividad (Villar et ál. 2004).

De otra parte se podría suponer que hojeando intensidad podría explicarse de manera descriptiva realizando esta relación y observando cómo se distribuyen las especies en la línea de tendencia (Figura 11), es decir; explicar la variación en el tamaño de la hoja en función a su productividad en yemas apicales y axiales (ramitas adjuntas al tallo primario) y con el propósito de respaldar la hipótesis que el tamaño de la hoja explican la plasticidad fenotípica de los rebrotes y disponibilidad de forraje, se podría decir que la masa individual de las hojas (gMS) explica en un  $r^2 = 0.96$   $p < 0.001$  el Área Foliar (AF) de las mismas (Figura 12), es decir que especies con menor masa individual de sus hojas se correlacionan con una menor AF como ocurre con *Cordia dentata*, *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia*. Este rasgo asociado a un menor AF se traduce en una mayor producción de rebrotes y biomasa foliar, concordando con lo expuesto por Kleiman y Aarssen (2007); Yang (2008); Milla (2009) en que un aumento en hojeando intensidad (Nº hojas/vol) se relaciona con una menor masa de hojas individuales, que a su vez, expresan un menor tamaño de hoja (Figura 12). Es decir; El tamaño de la hoja varía en términos de número de hojas por rebrote.

Finalmente, estas formas descriptivas para explicar el efecto del número de hojas (banco de meristemos) sobre la producción de ramitas (yemas axiales) y la relación entre el masa individual de la hoja (Figura 11; Figura 12) sobre la plasticidad fenotípica de las especies forrajeras arbustivas y su relación con la productividad puede ser una alternativa metodológica para explicar el leaf intensity en un grupo reducido de especies. En este sentido de ideas, la comprensión de los rasgos funcionales que determinan la capacidad de regeneración del rebrote, son claves, para el uso de especies forrajeras arbóreas y arbustivas, debido a la capacidad de respuesta a la perturbación y el aprovechamiento de recursos en bajos entornos de nutrientes.

Para nuestro estudio la búsqueda de nuevas especies con potencial forrajero como *Cordia dentata*, *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia* se considera un innovación en trópico seco Centroamericano, debido al número reducido de especies forrajeras arbóreas y arbustivas que se utilizan en esta latitud, siendo las más comunes

para los productores *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Thitonia diversifolia*, *Morera spp*, *Brosimum alicastrum* y *Moringa oleífera* (Karim et ál. 1991; Tarawali et ál. 1996; Larbi et ál. 2000; Latt et ál. 2000; Reyes 2006). Sin embargo el uso de especies forrajeras para la alimentación de rumiantes es una práctica conocida por productores en Centroamérica (Mendoza et ál. 2000) pero su aprovechamiento sistemático es limitado (Benavides 1993; Sosa et ál. 2004).

Por esta razón, los resultados generados en esta investigación pueden despertar la atención de los productores, por el uso árboles dispersos en potreros para producción de forraje y ofrecer en el sitio, a diferencia de bancos forrajeros de corte y acarreo. Por la comunidad académica en profundizar sobre el manejo agroecológico de las mismas y por los organismos encargados del desarrollo agropecuario en los diferentes países sobre las estrategias de adopción de estas tecnologías, pasando de la ciencia a la práctica del conocimiento.

### **5.3 Disponibilidad de biomasa para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de Nicaragua**

La producción de biomasa comestible para el grupo de seis especies muestra que *Cordia dentata* con  $5.95 \pm 1.43$  kgMS/árbol y *Pithecellobium dulce* con  $3.20 \pm 1.12$  kgMS/árbol presenta un mayor potencial con respecto a las demás especies, esta producción puede deberse a una mayor proporción de biomasa de hojas con respecto a la biomasa total (tallos y hojas) (Figura 15), siendo esta una medida de inversión en órganos fotosintéticos activos que favorecen la tasa de crecimiento relativo (RGR) (Villar et ál. 2004). Esta inversión se beneficia en un mayor número de hojas desarrolladas después de la poda, debido a una mayor reposición de las reservas de carbohidratos de las raíces mediante los fotosintatos producidos por las hojas y nuevas estructuras (Hrabar. 2009) explicado de alguna manera la importancia de un mayor número de hojas sobre la productividad de los rebrotes. Algunos investigadores como Villar et ál. (2004) señalan que la proporción de masa foliar (LMF) explica hasta un 60 % la razón de área foliar (LAR) aspecto morfológico importante en la tasa de crecimiento relativo (RGR) de las plantas leñosas.

Sin embargo, hay que resaltar la importancia de los contenidos de carbohidratos almacenados en tallos, raíces estructurales y secundarias sobre la productividad (Barnes. 1998; Latt et ál. 1998; Latt et ál. 2000; Gracia. 2001), y sobre un mayor número de yema axiales y terminales e índice foliar (Heering. 1995; Seresinhe et ál. 1998; Larbi et ál. 2005). Lo anterior podría suponer que las especies *Cordia dentata* y *Pithecellobium dulce* presentan un mayor almacenamiento de carbohidratos solubles, que se traduce en un mayor número de hojas, menores áreas foliares (AF) y por consiguiente una mayor capacidad de regeneración y producción de bancos de meristemos (Kleiman y Aarssen. 2007). La especie *Guazuma ulmifolia* a diferencia de las anteriores, cuenta con una particularidad en la producción de biomasa comestible y se refiere a la distribución de sus fracciones, un 97.5% proviene de hojas en fracciones finas y gruesa, y tan solo un 2.5% de tallos finos, mientras que *Cordia dentata* y *Pithecellobium dulce* aportan en tallos de la fracción fina el 14.47% y 16% respectivamente, esto podría suponer, que en términos de producción de biomasa digerible *Guazuma ulmifolia* ofrece mejor alternativa ya que no presenta contenidos de compuestos secundarios como taninos y ligninas provenientes de tallos (Larbi et ál. 2001; Larbi et ál. 2005; García et ál. 2006;).

Finalmente, este estudio pretende ampliar el conocimiento de algunas especies forrajeras arbustivas comunes en potrero; *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Albizia saman* y *Albizia nipoides*, y otras no muy usadas para alimentación animal como *Pithecellobium dulce* en el Municipio de Belen Rivas. Su potencial en términos de productividad y como alternativa de solución para la suplementación animal en la época de sequía, mediante el uso de forraje proveniente de árboles en potrero, que es ofrecido directamente en el sitio para el ganado.

Este estudio debe interpretarse con cautela, debido que algunas de las especies muestran un gran potencial en la producción de forraje, sin embargo existen otros criterios que se deben considerar para explorar su verdadero potencial, como intensidades y frecuencias de poda, crecimiento de raíces y su almacenamiento de carbohidratos, rasgos de preferencia animal y rasgos nutricionales.

## 6. ANÁLISIS E IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO AL DESARROLLO DE LA GANADERÍA.

El conocimiento en el uso de leñosas forrajeras es una práctica reconocida en diferentes latitudes, que ha tratado de prestar solución a la baja disponibilidad de alimento en cantidad y calidad para rumiantes menores y mayores en condiciones de trópico seco, donde las prolongadas sequías hace difícil la tarea del cuidado animal. (Benavides et ál. 1993; Barnes 1998 (a); Barnes 1998 (b); Larbi et ál. 2001; Larbi et ál. 2005). Este conocimiento ha venido mejorando con el transcurrir de los avances tecnológicos y científicos, en este sentido, la incursión de nuevos enfoques como la ecología funcional, puede ser utilizada para vislumbrar el posible potencial en capacidad de rebrote y producción de biomasa, que pueden prestar algunas especies leñosas forrajeras dispersas en potrero en el Municipio de Belen.

Este enfoque de ecología funcional aplicado a la selección de leñosas forrajeras puede mostrar no solamente el potencial en producción de biomasa, sino además otros criterios poco considerados en la selección de forrajeras leñosas, como la capacidad de respuesta a la perturbación en el ambiente y la regeneración de rebrotes en árboles dispersos en potrero, mejorando así el funcionamiento productivo y ecológico de los sistemas ganaderos. Este uso de árboles en potrero y cercas vivas ofrece un gran potencial en el Municipio de Belen debido a la abundancia de árboles nativos provenientes de la regeneración natural, sumado al conocimiento local sobre el manejo silvicultural como; el establecimiento de arboles por vía asexual o vegetativa (postes) en cercas vivas para *Cordia dentata*, *Guazuma ulmifolia* y *Gliricidia sepium*, la selección de árboles de interés para el productor, raleo de los no deseables y finalmente el manejo de podas con propósitos de cosecha de postes para cercas vivas y forraje para alimentación animal.

En este sentido las especies que mostraron mayor potencial en producción de biomasa y capacidad de rebrote *Cordia dentata*, *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia*, presentan una amplia perspectiva de uso, debido a la multifuncionalidad de servicios que prestan a los productores como fuentes dendro-energeticas (leña) para

elaboración de alimentos, columnas para la construcción de viviendas e infraestructura agropecuaria, sombra para el ganado, producción de forraje y frutos para alimentación animal, medicina y conservación de biodiversidad. En esta línea de ideas, la vinculación de especies promisorias en sistemas de producción ganadera es una innovación tecnológica que ofrece mayores ventajas para la adaptación al cambio climático por medio de la sombra para el ganado y el control del estrés calórico, provisión de frutos y follajes a lo largo de la época crítica, fertilidad del suelo y diversificación. Sin embargo, se requieren más estudios para refinar los diseños de este sistema silvopastoril (árboles dispersos en potreros para producción de forraje y otros servicios) para lograr un mayor balance entre producción y conservación.

Es importante mencionar que el uso de nuevas estrategias para la alimentación animal, en el periodo seco es de suma importancia, debido a la baja disponibilidad de alimento en cantidad y calidad proveniente de las pasturas naturalizadas y a las alternativas suplementarias utilizadas por los ganaderos, como el uso de afrecho de arroz, tuza de maíz y gallinaza, este último prohibido en los países Suramericanos por estándares de salud pública e inocuidad. A esto habría que sumarle, la escasa presencia de infraestructura para el ensilaje de alimentos, agudizando así la problemática.

Con este estudio se pretende mostrar el potencial de leñosas forrajeras en potrero, no solo, por ser una alternativa de solución a la problemática, sino además por otros componentes de importancia para su adopción, como la abundancia de individuos presentes en potreros que reducen costos en la compra en material vegetal, la exploración de nuevas especies nativas y el conocimiento local ya existente sobre el manejo de árboles para alimentación animal y variedad de servicios que cumplen tanto dentro como fuera de la finca.

Por esta razón, se llama a la reflexión a los productores, organizaciones gremiales, organismos nacionales, Alcaldía Municipal y Ministerio Agropecuario y Forestal MAGFOR, Comisión Nacional de Ganaderos CONAGAN y organizaciones internacionales con influencia en la zona como el CATIE en el financiamiento y la puesta en práctica de las experiencias en el manejo y establecimiento de bancos de forraje y diseños de Sistemas Silvopastoriles (árboles dispersos en potreros para

producción de forraje) que, cumplan en el mediano y largo plazo las expectativas y demandas de las familias ganaderas.

## **7. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LOS RESULTADOS PARA LA FORMACIÓN DE POLÍTICAS.**

Es importante mencionar que la reconvención de la ganadería en el municipio de Belen a una ganadería más innovadora y amigable con el ambiente, no parece ser de gran interés para la administración municipal o estratégica para los tomadores de decisión nacional. Sin embargo el impacto de la ganadería extensiva sigue en curso, deteriorando la calidad del ambiente y la economía local, hasta llegar a un punto de no retroceso en la degradación de recursos naturales no renovables y la afectación de familias y campesinos que sustentan sus ingresos en la actividad ganadera.

Sin duda alguna, uno de los elementos que desencadenan la ausencia de apoyo e interés por los organismos nacionales es la falta de asociaciones gremiales y organizaciones no gubernamentales ONGS que hagan eco a las necesidades del sector ganadero del Municipio. En este sentido y con el propósito de contribuir a la formulación de nuevas opciones en innovación tecnológica en alimentación animal mediante el uso de leñosas forrajeras presentes en potrero, se espera que esta investigación y las demás desarrolladas por el CATIE y otros centros de investigación del departamento de Rivas, sirvan como pilar en el cambio de pensamiento en productores y estrategias de desarrollo promovidas por organismo nacionales e internacionales del sector agropecuario, pasando de la investigación a la práctica del conocimiento.

Entre las propuestas para la implementación de esta tecnología en alimentación animal y las demás investigaciones del proyecto Funcitree se podrían establecer tres líneas de trabajo:

1. Generación y fortalecimiento de organizaciones de productores ganaderos, con el propósito de hacer un llamamiento en la importancia de esta actividad para otros renglones de la economía local.

2. Vincular dentro del plan de desarrollo municipal proyectos de reconversión ganadera mediante el uso de fincas demostrativas y escuelas de campo.
  
3. La búsqueda de apoyo técnico y financiero con organismos estatales como MAGFOR y CONAGAN, Universidades y agencias y/o organismos internacionales que faciliten la adquisición de tecnologías agropecuarias y fortalezcan las habilidades empresariales y técnico productivas de ganaderos y su familias.

## 8. CONCLUSIONES

Las leñosas forrajeras de mayor producción de biomasa comestible fueron *Cordia dentata*, *Phitecellobium dulce*, *Albizia saman* y *Gauzuma ulmifolia*, esto puede atribuirse a que las dos primeras y la última especie presentaron la mayor capacidad de rebrote, para el grupo de las seis especies. También se observó que la especie *Gliricidia sepium* aun que, ocupa el tercer lugar en producción de biomasa total un 53.2% de esta, es invertida en la producción de biomasa no comestible y finalmente *Albizia niopoides* presentó los resultados más bajos en las evaluaciones realizadas.

Se observó que la producción de rebrotes en los dos primeros meses de poda se dispara y posteriormente desciende, esto puede deberse a un equilibrio entre la producción de carbohidratos de las raíces en los primeros dos meses y los generados posteriormente por los fotosintatos de la biomasa foliar, sin embargo las especies *Albizia saman* y *Albizia niopoides* iniciaron su producción de rebrotes en el segundo mes, esto pudo deberse al efecto de la poda en la muerte y reducción de raíces secundarias y estructurales que generaron una disminución en la producción de carbohidratos, por lo tanto, la planta pudo utilizar como estrategia la disponibilidad de recursos asimilables en el suelo, con la llegada del periodo lluvioso (mes dos).

En la evaluación de rasgos funcionales, se determinó que el rasgo que mejor explica la capacidad de rebrote y producción de biomasa es el AF, siendo las hojas de menor área, las de mayor producción de biomasa y capacidad de rebrote, esto se debe, a que hojas de menor tamaño 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).

Algunos investigadores concuerdan en que esta propiedad en la capacidad de rebrote es considerada como una mayor plasticidad fenotípica de la especie, es decir; una mayor capacidad de adaptación a perturbaciones en el ambiente, entornos de baja disponibilidad de nutrientes y regeneración debido a las actividades de manejo sobre los

rebrotos. En este sentido se determino que las especies con mayor plasticidad fenotípica fueron: *C. dentata*, *P. dulce* y *G. ulmifolia*.

La hipótesis de leaf intenity (Hojenado intensidad) no se pudo demostrar, debió a la carencia de información, al reducido número especies o la falta rigurosidad en la estimación del volumen de ramitas adjuntas al tallo principal (2°,3°,4° y 5°), sin embargo mediante la relación entre el numero de hojas vs numero de ramitas adjuntas al rebrote, se determino que las especies de menor AF, presentaron el mayor numero de hojas y mayor número de ramitas adjuntas (yemas axiales) cumpliendo así de manera descriptiva esta hipótesis.

Finalmente se puede concluir, que el uso de leñosas forrajeras en fincas ganaderas, donde se dispone el material podado directamente del árbol al suelo para el consumo animal, es una innovación tecnológica con amplias perspectivas de implementación, debido al potencial proveniente del conocimiento local, a la multifuncionalidad de los árboles y la abundancia de las leñosas en las fincas. En este sentido se consideraron los siguientes atributos que pueden hacer real la implementación de esta tecnología:

1. El conocimiento local sobre algunas actividades de manejo de árboles; periodos de cosecha de material vegetal y realización de podas, establecimiento de postes en cercas vivas y manejo de la regeneración natural en potrero.
2. El material vegetal proveniente de la regeneración natural y la producción de postes procedentes de árboles presentes en las fincas.
3. La multifuncionalidad de servicios que proveen los árboles como; leña, madera, sombra y medicinal, que favorecen la adopción, el diseño de SSP y la diversificación de los productos provenientes de la finca.

## RECOMENDACIONES

Se espera que esta información sirva para despertar el interés para una exploración más profunda y motivación para ampliar el uso en fincas ganaderas de las especies leñosas forrajeras, que mostraron potencial para la producción de forraje para mejorar la alimentación del ganado. Además, es importante continuar con los procesos de diseño, promoción e implementación del sistema silvopastoril de leñosas forrajeras en potreros (árboles dispersos y cercas vivas) dentro de las estrategias de alimentación del ganado durante el año para mantener una producción animal (leche y carne) con la menor variación entre la época lluviosa y seca. Este modelo de producción tiene potencial para lograr la sostenibilidad (económica, social y ambiental) de las fincas ganaderas y la adaptación y mitigación al cambio climático enfocado a la sequía.

El enfoque de la ecología funcional es una herramienta útil e innovadora que amplía los criterios de selección de leñosas forrajeras, sin embargo este enfoque requieren de una serie de factores de éxito, como el uso de equipos de precisión en campo y laboratorio, y un mayor número de meses de observación de campo, para generar información más precisa y consecuentes con los procesos fisiológicos que la planta desarrolla durante periodos de sequía y lluvias. Otro factor limitante en este tipo de estudio se relaciona con el diseño estadístico y la selección de individuos con ciertas características morfológicas y similitud de los sitios, explicando así el efecto de la calidad de sitio sobre la productividad. En este sentido es importante profundizar en los diseños experimentales en términos de productividad de árboles en potrero, debido al efecto de calidad de sitio, presencia de procesos erosivos, competencia por proximidad a vecinos y pendiente, y que pueden cambiar en un mismo potrero independientemente de su tamaño.

Esta investigación sugiere un diseño experimental más riguroso, mayor número de réplicas y mejor control de las covariables presentes. También una visión de mediano y largo plazo que proponga el establecimiento de bancos de forraje con *Cordia dentata* y *Pithecellobium dulce* que evalúen rasgos funcionales que explican productividad (crecimiento de raíces, reservas de carbohidratos, hojeario intensidad, capacidad de

rebrote y fenología, además de su correspondiente manejo agroecológico, generando un impacto positivo sobre la necesidades alimenticias de los productores ganaderos de los países Centroamericanos.

## BIBLIOGRAFIA

Ackerly, D.D., Knight, C.A., Weiss, S.B., Barton, K. & Starmer, K.P. 2002. Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia*, 130, 449–457.

Ackerly, D.D. & Donoghue, M.J. 1998. Leaf size, sapling allometry, and Corner's rules: phylogeny and correlated evolution in maples (*Acer*). *American Naturalist*, 152, 459–470.

Adler PB, Milchunas DG, Sala OE, Burke IC and Lauenroth WK. 2005. Plant traits and ecosystem grazing effects: comparison of u.s. sagebrush steppe and Patagonian steppe. *Ecological Applications*, 15(2), 2005, pp. 774–79  
[http://brown.edu/Research/ECI/people/sala/pdfs/US\\_sagebrush\\_steppe\\_Patagonian\\_steppe\\_2006.pdf](http://brown.edu/Research/ECI/people/sala/pdfs/US_sagebrush_steppe_Patagonian_steppe_2006.pdf)

Aganga, A.A. and Tshwenyane, S.O. 2003. Feeding values and anti-nutritive factors of forage tree legumes. *Pakistan Journal of Nutrition* 2, 170-177. En línea.  
<http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/pjn/2003/170-177.pdf>

Aguado. SG, Rasco. CQ, Pons. HLJ, Grajeda. CO, García-Moya. E. 2004. Manejo biotecnológico de gramíneas forrajeras. *Técnica Pecuaria México*. 42(2): 261-276.

Alados, C. L., Barroso, F. G. & García, I. 1997. Effects of early season defoliation on above-ground growth of *Anthyllis cytisoides*, a Mediterranean browse species. *Journal of Arid Environments* 37:269–283. En línea  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196397902743>

Antunez I E, Retamosa YR, Villar. 2001. Relative growth rate in phylogenetically related deciduous and evergreen. Woody species. *Oecologia*. 128;172-180. En línea.  
<http://www.springerlink.com/content/87qr90beqx85911w/fulltext.pdf>

Ansquer, P., R. Al Haj Khaled, P. Cruz, J.-P. Theau, O. Théron, and M. Duru. 2009. Characterizing and predicting phenology in species-rich grass lands. *Grass Forage Science* 64:57-70.

Balsamo, R. A., A. M. Bauer, S. D. Davis, AND B. M. Rice. 2003. Leaf biomechanics, morphology, and anatomy of the deciduous mesophyte *Prunus serrulata* (Rosaceae) and the evergreen sclerophyllous shrub *Heteromeles arbutifolia* (Rosaceae). *American Journal of Botany* 90: 72–77.

Barnes, P. 1998 (a). Herbage yields and quality in four woody forage plants in a subhumid environment in Ghana. *Agroforestry Systems*. Vol 42, N1. 25-32. En línea  
<http://www.springerlink.com/content/v1u11nmv3ht35271/fulltext.pdf>

Barnes, P. 1998 (b). Fodder production of some shrubs and trees under two harvest intervals in subhumid southern Ghana. *Agroforestry Systems*. Vol 42, N 2. 139-147. En línea  
<http://www.springerlink.com/content/q3077g52258p2674/fulltext.pdf>

Benavides J.1993. Arboles forrajeros en América Central. En II Seminario Centro Americano y del Caribe sobre Agroforestería con rumiantes menores. San Jose, Costa Rica: 1-33 Consultado el 4 de Nov de 2010. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/613/61342201.pdf>

Berninger F, Nikinmaa E, Sievanen R, Nygren P. 2000. Modeling of reserve carbohydrate dynamics, regrowth and nodulation in a N<sub>2</sub> –fixing tree managed by periodic prunings. *Plant Cell Environ.* 23: 1025-1040. En línea. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-3040.2000.00624.x/pdf>

Bond, W.J. & Midgley, J. 1988. Allometry and sexual differences in leaf size. *American Naturalist*, 131, 901–910.

Bonifacio M, Putz F.B, Fredericksen. T.C, Villca. A. Palacios T. 2008. Contributions of root and stump sprouts to natural regeneration of a logged tropical dry forest in Bolivia. *Forest Ecology and Management*, Vol 258, N°6:978-985. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112708007433>

Bonser SP, Aarssen LW.1996. Meristem allocation: a new classification theory for adaptive strategies in herbaceous plants. *Oikos*77. 347-352. <http://www.jstor.org/pss/3546076>

Bragg, J.G. & Westoby, M. 2002. Leaf size and foraging for light in a sclerophyll woodland. *Functional Ecology* 16. 633–639.

Brouat, C., Giberneau, M., Amsellem, L. & McKey, D. 1998. Corner's rules revisited: ontogenetic and interspecific patterns in leaf-stem allometry. *New Phytologist*, 139, 459–470.

Canham, C.D., R.K. Kobe, E.F. Latty y R.L. Chazdon 1999. Interspecific and intraspecific variation in tree seedling survival: effects of allocation to roots versus carbohydrates reserves. *Oecologia* 121: 1-11 121:1-11. En línea. <http://www.springerlink.com/content/xm3jv89p2qetfvvu/fulltext.pdf>

Cobbina J. 1995. Herbage yield of pigeonpea (*Cajanus cajan*) accessions in a humid tropical environment as influenced by pruning management. *J. Agricult. Sci. Cambridge* 125: 227– 232.

Cordero, J, Boshier, D.H. eds, Barrance A, Beer. J, Boshier, D.H, Chamberlain, J, Cordero, J, Detlefsen, G, Finegan, B, Galloway, G, Gómez, M, Gordon, J, Hands, M, Hellin, J, Hughes, C, Ibrahim, M, Kass, D, Leakey, R, Mesén, F, Montero, M, Rivas, C, Somarriba, E, Stewart, J, Pennington, T. 2003. *Arboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Oxford (RU). OFI/CATIE. 1079 p. Consultado el 23 de septiembre de 2011. En línea. <http://www.arbolesdecentroamerica.info/cms/>

Cornelissen, J.H.C, Lavorel, S, Garnier E, Diaz S, Buchmann N, Gurvich D. E, Reich P. B, ter Steege, H., Morgan, H. D., van der Heijden, M. G. A., Pausas, J. G., and Poorter, H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide, *Aust. J. Botany*, 51, 335–380.imited, Hong Kong.

Cornelissen, J.H.C. 1999. A triangular relationship between leaf size and seed size among woody species: allometry, ontogeny, ecology and taxonomy. *Oecologia*, 118, 248–255

Cornelissen, Castro P D and Hunt R. 1996. Seedling Growth, Allocation and Leaf Attributes in a Wide Range of Woody Plant Species and Types. *Journal of Ecology*. Vol. 84, No. 5. 755-765 En línea.  
[http://www.falw.vu.nl/en/Images/Cornelissen1996a\\_tcm24-94780.pdf](http://www.falw.vu.nl/en/Images/Cornelissen1996a_tcm24-94780.pdf)

Corner EJH. 1949. The durian theory or the origin of the modern tree. *Annals of Botany* 1949;13:367-414. En línea.  
[http://aob.oxfordjournals.org/content/13/4/367.full.pdf+html?ijkey=c42b783fbf6e17624337fd3c484723266aae5e02&keytype=tf\\_ipsecsha](http://aob.oxfordjournals.org/content/13/4/367.full.pdf+html?ijkey=c42b783fbf6e17624337fd3c484723266aae5e02&keytype=tf_ipsecsha)

CPC (Comisión Presidencial de Competitividad). 2003. Reinventando Nicaragua. Los Clusters de Nicaragua. Managua, Nicaragua: Comisión Presidencial de Competitividad. En línea:  
<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/56120/2/isnardp12sp.pdf>

Díaz, S., Noy-Meir, I., and Cabido, M. 2001. Can grazing response of herbaceous plants be predicted from simple vegetative traits?, *J. Appl. Ecol.*, 38, 497–508. En línea:  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2664.2001.00635.x/pdf>

Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F.S. y Tilman, D. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology* 4: e277. En línea:  
<http://www.plosbiology.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pbio.0040277>

Dudley, S.A. 1996. Differing selection on plant physiological traits in response to environmental water availability: a test of adaptive hypotheses. *Evolution*, 50. 92–102.

ECG (Economic Competitiveness Group. Reinventando Nicaragua). 2003. Perfil del cluster de lácteos en Nicaragua. pp. 40. En línea  
[www.sia.net.ni/portal/servicios/maximize/page.servicios.section2.portlet2?act=verDocumento&documento=207](http://www.sia.net.ni/portal/servicios/maximize/page.servicios.section2.portlet2?act=verDocumento&documento=207).

Erdmann T K, Nair P.K.R, Kang B.T. 1993. Effects of cutting frequency and cutting height on reserve carbohydrates in *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., *Forest Ecology and Management*, Volume 57, 45-60. En línea.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037811279390161F>

Flores, S. y M. Artola. 2004. Cadena de Lácteos en Nicaragua. Estudio de caso. Smith, J.F. ed. En *Las Cadenas de Valor en Nicaragua: Quequisque, Forestal, Lácteos. Tres estudios de caso*. Managua, Nicaragua: United Nations Development Fund for Women. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/56120/2/isnardp12sp.pdf>

Gamfeldt L, Hillebrand H and Jonsson R. 2008. Multiple functions increase the importance of biodiversity for overall ecosystem functioning. *Ecology* 89:1223–1231.  
<http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/06-2091.1>

García. H, Nygren. P, Desfontaines L. 2001. Dynamics of nonstructural carbohydrates and biomass yield in a fodder legume tree at different harvest intensities. *Tree Physiology* 21: 523–531. En línea <http://treephys.oxfordjournals.org/content/21/8/523.full.pdf+html>

García E.D, Medina. M. G, Domínguez. C, Baldizán. A, Humbría, J y Cova L. 2006. Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 24(4): 401-415. 2006. Consultado 20 jun de 2010. En línea <http://www.bioline.org.br/pdf?zt06032>

García E.D, Medina. M.G, Clavero, T. 2008 (b). Preferencia de árboles forrajeros por cabras en la zona baja de los andes Venezolanos. *Rev. Cient. (Maracaibo)*. (en línea), Vol.18, No.5. 549-555. Consultado el 19 de julio de 2011. Disponible en: [Disponible en la World Wide Web:22592008000500004&lng=es&nrm=iso>](http://www.wjv.com/revistas/revista051808/revista0518080500004.pdf). ISSN 0798-2259.

García E.D, Medina. M. G, Coval. L. 2008 (a). Aceptabilidad de follajes arbóreos tropicales por vacunos, ovinos y caprinos en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Trop*. Vol.26. No.3. 191-196. Consultado septiembre 03 de 2011. Disponible en : <http://www.scielo.org.ve/pdf/zt/v26n3/art06.pdf>

Garnier, E. y G. Laurent. 1994. Leaf anatomy, specific mass and water content in congeneric annual and perennial grass species. *New Phytologist* 128: 725-736.

Gates, D.M. 1980. *Biophysical Ecology*. Springer-Verlag, New York.

Graff P, Aguiar MR, and Chaneton EJ. 2007. Shifts in positive and negative plant interactions along a grazing intensity gradient. *Ecology* 88: 188-199. En línea: [http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/00129658\(2007\)88%5B188:SIPANP%5D2.0.CO%3B2](http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/00129658(2007)88%5B188:SIPANP%5D2.0.CO%3B2)

Givnish, TJ y Vermeij, GJ. Givnish, T.J. & Vermeij, G.J. 1976. Sizes and shapes of liane leaves. *American Naturalist* 110. 743–778. <http://www.jstor.org/pss/2460082>

Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional. 2008. La producción de leche en Nicaragua (3 de marzo de 2008): [www.presidencia.gob.ni/index.php?option=com\\_content&task=view&id=%2045&Itemid=54](http://www.presidencia.gob.ni/index.php?option=com_content&task=view&id=%2045&Itemid=54)

Harguindeguy NP, Díaz S, Vendramini F, Cornelissen JHC, Gurvich DE. 2003. Leaf traits and herbivore selection in the field and in cafeteria experiments. *Austral Ecology* 28. 642-650. En línea. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1442-9993.2003.01321.x/full>

Heering J.H. 1995. The effect of cutting height and frequency on the forage, wood and seed production of six *Sesbania sesban* accessions. Productivity of *Sesbania sesban* accessions under irrigated conditions. *Agrofor. Syst.* 30: 341–350.

Hernández V G, Sánchez V, Lázaro R, Aragón F. 2001. Tratamientos pregerminativos en cuatro especies arbóreas de uso forrajero de la selva baja caducifolia de la sierra de Manantlán Foresta Veracruzana. En línea. Consulta: 12 de diciembre de 2011. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49730102#> ISSN 1405-7247

Hoste, H., Jackson, F., Athanasiadou, S., Thamsborg, S.M. and Hoskin, S.O. 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in Parasitology* 6, 254-261. En línea: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1471492206000997>

Horn H. 1971. *The adaptive geometry of trees*. Princeton, NJ: Princeton University Press;1971. En línea. <http://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=Lo7dXOlsc3sC&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+adaptive+geometry+of+trees&ots=xzjcAiLGdL&sig=GH9FJ50sYXoyRVFKZI9wQEq8E4o#v=onepage&q=The%20adaptive%20geometry%20of%20trees&f=false>

Hrabar, H, Hattas D, and 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.

Hunt, R., D. R. Causton, B. Shipley, y A. P. Askew. 2002. A modern tool for classical growth analysis. *Annals of Botany* 90: 485-488.

INIDE (Instituto nacional de información de desarrollo). 2007. Estimaciones y Proyecciones de Población Nacional, Departamental y Municipal Managua Nicaragua. (En línea). Consultado 05 de Feb. 2011. Disponible en: <http://www.inide.gob.ni/estadisticas/proyecciones/Proyeccion07.pdf>

INIFON (Instituto Nicaragüense de fomento municipal). 2011. Ficha Municipal, Municipio de Belen, Departamento de Rivas. (En línea). Consultado 05 de Feb. 2011. Disponible en: <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/RIVAS/belen.pdf>

INETER (Instituto nicaragüense de estudios territoriales) 2000. Zonificación de la III y IV región. Informe de Campo. INETER, Managua, Nicaragua, En prensa. 18 p. Disponible en Internet en <http://www.inifom.gob.ni/docs/caracterizaciones/Matiguás.pdf>

IPCC (Intergovernmental panel on climate change). 2001. Third Assessment Report - Climate Change 2001. Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 14 Latin America. (en línea). GRID-Arendal en 2003. Consultado 12 may. 2010. Disponible en [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg2/pdf/wg2TARchap14.pdf](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/pdf/wg2TARchap14.pdf)

Kabeya D, Sakai A, Matsui K, Sakai S. 2003. Resprouting ability of *Quercus crispula* seedlings depends on the vegetation cover of their microhabitats. *Journal of Plant Research* 116: 207–216.

Kabeya. D and Sakai. S. 2005. The Relative Importance of Carbohydrate and Nitrogen for the Resprouting Ability of *Quercus crispula* Seedlings. *Annals Botanic.* 96 ( 3 ): 479 – 488. En línea. <http://aob.oxfordjournals.org/content/96/3/479.full.pdf+html>

Karim A. B, Rhodes E. R. and Savill P. S. 1991. Effect of cutting height and cutting interval on dry matter yield of *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit. *Agroforestry Systems* 16: 129 -137.

Kays JS, Canham C,D.1991. Efects of time and frequency of cutting on hardwood root reserves and sprout growth. *For Sci* 37:524 - 539.

King, D.A. 1998. Influence of leaf size on tree architecture: first branch height and crown dimensions in tropical rain forest trees. *Trees*, 12, 438–445.

Kleiman, D. & Aarssen, L.W. 2007 The leaf size / number trade-off in trees. *Journal of Ecology*, 95, 376–382. En línea <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2745.2006.01205.x/full>

Korbut.N, Ojeda. Á y Muñoz. D. 2009. Evaluación del perfil bromatológico y de algunos parámetros físicos del follaje de plantas leñosas consumidas por vacunos en silvopastoreo en un bosque seco tropical semideciduo. *Zootecnia Trop.* Vol.27, No.1. 65-72. Consultado 01 de septiembre de 2011. Disponible en [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-72692009000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-72692009000100008&script=sci_arttext)

Larbi A , Awojide I, Adekunle D.O, Ladipo and 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. En línea <http://www.springerlink.com/content/hv511015jw312032/fulltext.pdf>

Larbi. A, Anyanwu N.J, Oji .I, Etela I, Gbaraneh L.D. and Ladipo. D.O. 2005. Fodder yield and nutritive value of browse species in west African humid tropics: response to age of coppice regrowth. *Agroforestry Systems* (2005) 65: 197–205. En línea. <http://www.springerlink.com/content/n4340624gh4581k0/fulltext.pdf>

Latt. C. R, Nair1 P. K. R. and Kang B. T. 2000. Interactions among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*. *Agroforestry Systems* 50: 27–46. En línea <http://www.springerlink.com/content/t73x802562553104/fulltext.pdf>

Latt C.R. 1996. Biomass Production in Agroforestry Trees as Influenced by Cutting Frequency and Reserve Carbohydrates. PhD dissertation. University of Florida, Gainesville.

Lavorel, S. y Garnier, E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16: 545-556.

Lopez. M. D, Soto. P. L, Jimenez. F.G. 2003. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmifolia* en dos comunidades del norte de Chiapas, México. *INCI*, vol.28, no.6, p.334-339. En línea. [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442003000600005&lang=pt](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000600005&lang=pt)

Lloyd, K. M., Pollock, M. L., Mason, N. W. H., & Lee, W. G. 2010. Leaf trait palatability relationships differ between ungulate species: evidence from cafeteria experiments using native tussock grasses. *New Zealand Journal of Ecology*, 34(2). 219-226

MacDonald, P.G., Fonseca, C.R., Mc Covert, J. & Westoby, M. 2003. Leaf-size divergence along rainfall and soil-nutrient gradients: is the method of size reduction common among clades? *Functional Ecology*, 17, 50–57.

McGlone, M.S. & Clarkson, B.D. 1993. Ghost stories: moa, plant defences and evolution in New Zealand. *Tuatara*, 32, 1–21.

MAGFOR (Ministerio agropecuario y forestal de Nicaragua). 2008. subprograma : Inversión de desarrollo integral para la producción de leche en polvo de alcance regional. Gobierno de Reconciliación Nacional. (En línea). Consultado <http://www.magfor.gob.ni/prorural/programasnacionales/perfilesub/plantalactea.pdf>

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. World Resources Institute., Washington, D.C. En línea. [http://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=UFVmiSAr-okC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Ecosystems+and+human+well-being:+Biodiversity+synthesis&ots=17CxR01\\_Yk&sig=bXsN7VgUXN9hIZZ\\_3kbiAAwNkk8#v=onepage&q=Ecosystems%20and%20human%20well-being%3A%20Biodiversity%20synthesis&f=false](http://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=UFVmiSAr-okC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Ecosystems+and+human+well-being:+Biodiversity+synthesis&ots=17CxR01_Yk&sig=bXsN7VgUXN9hIZZ_3kbiAAwNkk8#v=onepage&q=Ecosystems%20and%20human%20well-being%3A%20Biodiversity%20synthesis&f=false)

Mendieta, B., Reyes, N., Alfranca, O., 2000. Estrategia de desarrollo pecuario para el departamento de Chontales. Tesis Mag. Sc. Managua (Nicaragua). Universidad Autónoma de Barcelona.

Mendoza H.C, Tzec S y Solorio S.F. 2004. Efecto de las frecuencias de rebrote sobre la producción y calidad del follaje del árbol "Ramón" (*Brosimum alicastrum* Swartz). *Livestock Research for Rural Development* 2000 (12) 4. En línea. <http://www.lrrd.org/lrrd12/4/mend124.htm>

Milla R. 2009. The leafing intensity premium hypothesis tested across clades, growth forms and altitudes. *Journal of Ecology*. 97, 972–983. En línea [http://www.escet.urjc.es/biodiversos/publica/milla\\_jecol09.pdf](http://www.escet.urjc.es/biodiversos/publica/milla_jecol09.pdf)

Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T. and McNabb, W.C. 2003. The effect of condensed tannins on the nutritional and health of ruminants fed fresh temperate forage: a review. *Animal Feed Science and Technology* 106, 3-19.

Miranda R, Palma M.L, Zorrilla M. J. 2008. Degradabilidad in situ de la materia seca de la harina del fruto de Guacima, *Guazuma ulmifolia*, con dietas de frutos de especies arbóreas. *Zootecnia Trop*. Consultado septiembre. Vol 26. N°3. 227-230.

Missouri Botanical Garden. 2011. Tropicos. Consultado 03 de Noviembre de 2011. En línea. <http://www.tropicos.org/>

Moles, A.T. & Westoby, M. 2000. Do small leaves expand faster than large leaves, and do shorter expansion times reduce herbivore damage? *Oikos*, 90, 71–524.

- Monroy R, Colín H. 2004. El Guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.)Benth, un ejemplo de uso múltiple. *Madera y Bosques* (México) Num.001 Vol.10. 35-53 en línea. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/617/61710103.pdf>
- 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. CATIE, Turrialba, CR. p. 46-52.
- Morales JB, Perez-Jimenez A and Chiang F (1992) Fluctuation of starch in wood and bark of trees from the Pacific coast of Mexico. *Diversity of Pacific Basin woods in past, present, and future*, August 14–16, 1992. Lawaii, Hawaii. IAWA Bull 13: 241–242
- Mueller-Harvey, I. 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the science of food and agriculture* 86, 2010-2037.
- Niinemets, U., Portsmouth, A. & Tobias, M. (2006) Leaf size modifies support biomass distribution among stems, petioles and mid-ribs in temperate plants. *New Phytologist*, 171, 91–104.
- Niklas, K. J., AND E. D. Cobb. 2008. Evidence for diminishing returns from the scaling of stem diameter and specific leaf area. *American Journal of Botany* 95: 549–557.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2005. Situación de los bosques del mundo (en línea). Consultado el 20 de nov. de 2006. disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5574s/y5574s00.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Ganadería y deforestación (en línea). Políticas pecuarias 03. Consultado el 02 de junio de 2010. Disponible en: [http://www.rlc.fao.org/es/ganaderia/pdf/AGA04\\_ES\\_04.pdf](http://www.rlc.fao.org/es/ganaderia/pdf/AGA04_ES_04.pdf)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2008. Producción y Sanidad Animal (en línea). Ayudando a desarrollar una ganadería sustentable en América latina y el Caribe: lecciones a partir de casos exitosos. Consultado el 03 de Ene de 2011. Disponible en: [http://www.rlc.fao.org/es/ganaderia/pdf/gan\\_cas.pdf](http://www.rlc.fao.org/es/ganaderia/pdf/gan_cas.pdf)
- Olivero Functional trait approach to assess the ecological processes of drought tolerance and water use efficiency in silvopastoral systems in Rivas Department, Nicaragua. Thesis Mag. Scg CATIE, Turrialba, CR. p 32-35
- Ogawa, K. 2008. The leaf mass/number trade-off of Kleiman and Aarssen implies constancy of leaf biomass, its density and carbon uptake in forest stands: scaling up from shoot to stand level. *Journal of Ecology*, 96, 188–191.
- Parkhurst, DF y Loucks, OL .1972. Leaf size and angle vary widely across species: what consequences for light interception? . *Journal of Ecology* 60. 505 - 537. En línea. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1469-8137.2003.00765.x/pdf>
- Peréz A, García E, Enriquez J, Quero, Pérez J, Hernadez A. 2004 . A grownth analisis, specific leaf area and leaf nitrogen concentration in “mulato” grass (*Braquiaria* híbrido,

cv.). *Téc Pecu Méx*; 42(3): 447-458. En línea: [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/Fisiologia/Art\\_Analss\\_C\\_recimiento.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Fisiologia/Art_Analss_C_recimiento.pdf)

Petit, S. 2003. Parklands with fodder trees: a Fulbe response to environmental and social changes. *Applied Geography* 23, 205–225. En línea: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622803000213>

Pezo P. Kass M. Benavides J. Romero F. Chavez C. 1990. Potential of legume tree fodders as feed in Central America. In Devendra C editor. *Shrubs and tree fodders for farm animals. Proceedings workshop held in Denpasar, Indonesia IRDC. Ottawa, Canadá.* 163-165. (en línea). Consultado el 4 de Nov de 2010. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/613/61342201.pdf>

Pickup, M., Westoby, M. & Basten, A. (2005) Dry mass cost of deploying leaf area in relation to leaf size. *Functional Ecology*, 19, 88–97.

Polan, L. 1995. Buscando soluciones para la crisis del agro. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Serie Desarrollo Rural NE 12.50 p.

Poorter, H. 1989. Interspecific variation in relative growth rate: On ecological causes and physiological consequences. Page 45-68 in: H. Lambers, M. L. Cambridge, H. Konings y T. L. Pons (editores). *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants.* SPB, La Haya, Países Bajos.

Poorter, H., y M. Bergkotte. 1992. Chemical composition of 24 wild species differing in relative growth rate. *Plant, Cell and Environment*. 15: 221-229.

Poorter, H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide, *Aust. J. Botany*, 51, 335–380. imited, Hong Kong  
Poorter H, Niinemets U, Poorter L, Wright I L, Villar R. 2009. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*. *New Phytologist*. [Vol 182, Issue 3,](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x/pdf) 565–588. En línea. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x/pdf>

Poorter L y Rozendaal DMA. 2008. Leaf size and leaf display of thirty-eight tropical tree species. *Oecologia*. 158:35–46.

Poorter L., Kitajima K, Mercado P, Chubiña J, Melgar I, and. Prins H.H. 2010. Resprouting as a persistence strategy of tropical forest trees: relations with carbohydrate storage and shade tolerance. *Ecology* 91:9, 2613-2627 <http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/09-0862.1>

Reich, P. B., M. B. Walters, y D. S. Ellsworth. 1992. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs* 62: 365-392.

Restrepo, J. 2004. La luna: el sol nocturno de los trópicos y su influencia en la agricultura. Primera edición Managua: Sistema de información Mesoamericano sobre

agricultura sostenible. ISBN 99924-55-14-4. 214 p. Colección saberes y haceres del mundo rural.

Reyes, S.N. 2006. *Moringa oleifera* and *Cratylia argentea*: potential fodder species for ruminants in Nicaragua. Doctoral thesis ISSN 1652-6880, ISBN 91-576-7050-1. <http://www.moringanews.org/documents/Reyesthesis.pdf>

Rodríguez P A, Clavero, T., & Razz, R. 2001. Efecto de la altura y la frecuencia de poda en la producción de materia seca de *Acacia mangium* Willd. *Revista Forestal Centroamericana*, 35(3), 38-40. En línea: <http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev35/pagina38-40.pdf>

Rojas, L. 2008. Caracterización de especies leñosas en sistemas ganaderos, de los Municipios de Tlapacoya, Misantla y Martínez de la Torre, Veracruz. Tesis Mag.Sc. CATIE, Turrialba, CR. p. 4

Ruano 1994. Caracterización y evaluación de follajes arbóreos para la alimentación de rumiantes en el Departamento de Chiquimula, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR p 86

Rubanza, C.D.K., Shem, M.N., Bakengesa, S.S., Ichinohe, T. and Fujihara, T. (2007). Effects of *Acacia nilotica*, *A. polyacantha* and *Leucaena leucocephala* leaf meal supplementation on performance of Small East African goats fed native pasture hay basal forages. *Small Ruminant Research* 70, 165-173. En línea: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921448806000654>

Ruiz, P, Hernández D, Gómez H, Cobos M, Quiroga R, Pezo D. 2010. Fodder trees from three livestock regions of Chiapas, Mexico: use and nutritional characteristics. *Uciencia* 26(1):19-31. En línea: [http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/uciencia/abril\\_2010/2--370.pdf](http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/uciencia/abril_2010/2--370.pdf)

Sakai S and Sakai S. 1998. A Test for the Resource Remobilization Hypothesis: Tree Sprouting using Carbohydrates from Above-ground Parts. *Annals of Botany* 82: 213-216. En línea: <http://aob.oxfordjournals.org/content/82/2/213.full.pdf+html>

Sanona. H, . Kaboré-Zoungranab, I. Ledinc.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. En línea <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037784010700418X>

Sanchez R. N. *Moringa oleifera* and *Cratylia argentea*: Potential Fodder Species for Ruminants in Nicaragua. Thesis Ph.D. Faculty of Veterinary Medicine and Animal . Science Department of Animal Nutrition and Management Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala. En línea. <http://www.moringanews.org/documents/Reyesthesis.pdf>

Sánchez, Dalia; López, Marlon; Medina, Arnulfo; Gómez, René; Harvey, Celia; Vílchez, Sergio; Hernández, Blas; López, Fátima; Joya, Marina; Sinclair, Fergus; Kunth, Stefan. 2004. Importancia ecológica y socioeconómica de la cobertura arbórea en un paisaje fragmentado de bosque seco de Belen, Rivas, Nicaragua. En publicación:

encuentro nro. 68. UCA, Universidad Centroamericana, Managua: Nicaragua. En línea: <http://sala.clacso.org.ar/gsd/cgi-bin/library?e=d-000-00---0encuen--00-0-0Date--0prompt-10---4-----0-11--1-es-Zz-1---20-about---00031-001-0-OutfZz-8-00&a=d&c=encuen&cl=CL1&d=HASH904b324aeb5419b8edda7.1>

Sánchez H, Sánchez F and Castro S. C. 2001. Agronomic evaluation of tree species for forage production in the Yucatán Peninsula; Lizarraga. *Livestock Research for Rural Development* 13 (6) 2001. En línea. <http://www.lrrd.org/lrrd13/6/liza136.htm>

Sánchez W. 2011. Diversidad funcional y capacidad de amortiguamiento de los bosques ribereños de la sub cuenca Gil Gonzales, Departamento de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, CR. 60 – 90 p.

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. CATIE, Turrialba, CR. 50 p.

Schumacher J and Roscher C. 2009. Differential effects of functional traits on aboveground biomass in semi-natural grasslands. *Oikos* 118: 1659 – 1668. En línea. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0706.2009.17711.x/full>

Seresinhe T., Manawadu A. and Pathirana K.K. 1998. Yield and nutritive value of three fodder legume species as influenced by frequency of defoliation. *Trop. Agricult.*

Sipe TW, Bazzaz FA . 1994. Gap partitioning among maples (*Acer*) in central New England: shoot architecture and photosynthesis. *ECOLOGY* 75:2318-2332 <http://www.jstor.org/pss/1940887>

Sosa E. Pérez D. Reyes L. Zapata G. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos forrajeros tropicales para la alimentación de ovinos. *Rev. Cient. (Mexico). Técnica pecuaria en México*. Vol 42, no 002. Mexico. Pp 129-144. (en línea). Consultado el 4 de Nov de 2010. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/613/61342201.pdf>

Stearns S. 1989. Trade-offs in life-history evolution. *Functional Ecology*.3:259-268. <http://www.jstor.org/pss/2389364>

Stur W., Shelton M. and Gutteridge R.C. 1994. Defoliation management of forage tree legumes. In: Gutteridge R.C. and Shelton H.M. (eds), *Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture*. CBA International, Wallingford, UK, pp. 158–167.

Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: Cattle pasture, landdegradation and alternative land use in Central America. *CATIE Serie Técnica*.

Tarawali, P. A. Iji, Chionuma P.C and obot. U. 1996. Herbage yield and quality of *Gliricidia sepium* under different cutting heights and defoliation frequencies *Agroforestry Systems* 34: 315-326.

Terashima, I., T. Araya, S. I. Miyakawa, K. Sone, S. Yano. 2005. Construction and maintenance of the optimal photosynthetic systems of the leaf, herbaceous plant and tree: An eco-developmental treatise. *Annals of Botany* 95: 507–519.

Terrill, T.H., Douglas, G.B., Foote, A.G., Purchas, R.W., Wilson, G.F. and Barry, T.N. (1992). Effect of condensed tannins upon body growth, wool growth and rumen metabolism in sheep grazing Sulla (*Hedysarum coronarium*) and perennial pasture. *Journal of Agricultural Science Cambridge* 119, 265–273. En línea <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=4539068>

Trinidad75: 337–341. En línea. <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1767283>  
Shipley, B. (1995) Structured interspecific determinants of specific leaf area in 34 species of herbaceous angiosperms. *Functional Ecology*, 9, 312–319.

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 Agroecosystems to Climate Change. International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). SAT Journal Vol. 04. En línea. <http://www.icrisat.org/journal/SpecialProject/sp5.pdf>

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 doblepropósito en el Chal, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.

Van Der Heyden. F and Stock W. D. 1996. Regrowth of a Semiarid Shrub Following Simulated Browsing: The Role of Reserve Carbon. *Functional Ecology*. Vol. 10, No. 5. 647-653. En línea. <http://www.jstor.org/pss/2390175>

Villar R, Ruiz R, Quero J, Poorter H, Valladares F, Marañón T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Páginas 191-227. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8. En línea [http://www.escet.urjc.es/biodiversos/publica/Tasas\\_crecimiento.pdf](http://www.escet.urjc.es/biodiversos/publica/Tasas_crecimiento.pdf)

Velazquez. 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

Villanueva. C, Ibrahim M, Casasola .F, Rios. N, Sepúlveda. C. 2008. Políticas y Sistemas de Incentivos para el Fomento y Adopción de Buenas Prácticas Agrícolas Como Una medida de Adaptación al Cambio Climático en América Central. Capítulo 6 Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación a cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. Pag 115-116. Consultado el 2 de junio de 2010. Disponible en: [http://www.cep.unep.org/events-and-meetings/5th-lbsistac/5th\\_LBS\\_ISTAC\\_DOCUMENTS/unep-2009-adapcion-al-cambio-climatico-en-america-central.pdf](http://www.cep.unep.org/events-and-meetings/5th-lbsistac/5th_LBS_ISTAC_DOCUMENTS/unep-2009-adapcion-al-cambio-climatico-en-america-central.pdf)

Westoby, M. & Wright, I.J. (2003) The leaf size – twig size spectrum and its relationship to other important spectra of variation among species. *Oecologia*, 135, 621–628.

Westoby M, Falster DS, Moles AT, Vesk PA, Wright IJ. 2002. Plant ecology strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics*:33.125-159. En línea <http://www.jstor.org/pss/3069259>

Wildy D and Pate J. 2002. Quantifying Above- and Below- ground Growth Responses of the Western Australian Oil Mallee, *Eucalyptus kochii* subsp. *plenissima*, to Contrasting Decapitation Regimes 185-197. En línea: <http://aob.oxfordjournals.org/content/90/2/185.full.pdf+html>

Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P. K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., Midgley, J. J., Navas, M. L., Niinemets, U., Oleksyn, J., Osada, N., Poorter, H., Poot, P., Prior, L., Pyankov, V. I., Roumet, C., Thomas, S. C., Tjoelker, M. G., Veneklaas, E. J., and Villar, R. 2004. The worldwide leaf economics spectrum, *Nature*, 428, 821–827.

Wright, I.J., y M. Westoby. 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. y Sun, S. 2008. The Generality of Leaf Size versus Number Trade-off in Temperate Woody Species. *Annals of Botany* 102: 623–629. En línea <http://aob.oxfordjournals.org/content/102/4/623.full.pdf+html>

Zamora, S; García, J; Bonilla, G; Aguilar, H; Harvey, CA; Ibrahim M. 2001. Uso de frutos y follaje arb. reo en la alimentación de vacunos en la poca seca en Boaco, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 8(31): 45-49.

Zheng, S. X., Ren, H. Y., Lan, Z. C., Li, W. H., Wang, K. B., & Bai, Y. F. 2010. Effects of grazing on leaf traits and ecosystem functioning in Inner Mongolia grasslands: scaling from species to community. *Biogeosciences*, 7(3), 1117-1132. [http://eco.ibcas.ac.cn/group/baiyf/pdf/shuxia\\_zheng/Biogeosciences\\_Zheng\\_2010.pdf](http://eco.ibcas.ac.cn/group/baiyf/pdf/shuxia_zheng/Biogeosciences_Zheng_2010.pdf)

## ANEXO

### **Anexo I. Rasgos funcionales asociadas a la capacidad de rebrote y productividad para seis especies forrajeras arbustivas en potreros del trópico seco de 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> |
|---|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Familia<sup>1</sup></b>                          | (Borraginaceae)       | (Fabaceae, Mimosoideae)     | (Malvaceae, Byttnerioideae) | Fabaceae                 | (Fabaceae, Mimosoideae) | (Fabaceae, Mimosoideae)  |
| <b>Fructificación<sup>2</sup></b>                   |                       | (Mar-jun)                   | (Feb-Abr)                   | (Feb-May)                | (Feb-Mar)               | (Ago-Sep)                |
| <b>Longevidad hoja<sup>2</sup></b>                  | Semideciduo (Abr-Dic) | Caducifolia                 | Caducifolia (Abr-Dic)       | Caducifolia (Abr-Dic)    | Semideciduo (Abr-Dic)   | Caducifolia (Mar-Dic)    |
| <b>Tipo de hoja<sup>1</sup></b>                     | Simple                | Compuesta                   | Simple                      | Compuesta                | Compuesta               | Compuesta                |
| <b>Área Foliar (mm<sup>2</sup>)</b>                 | 4212.,1               | 4171.,9                     | 4968.,6                     | 16390.3 <sup>3</sup>     | 29564.8 <sup>4</sup>    | 6320.6 <sup>3</sup>      |
| <b>Área Especifica Foliar (mm<sup>2</sup> mg-1)</b> | 14.767                | 10.929                      | 12.846                      | 18.6 <sup>3</sup>        | 7,3 <sup>4</sup>        | 15,3 <sup>3</sup>        |
| <b>Longitud/rebrote (cm)</b>                        | 145.056               | 111.250                     | 168.917                     | 235,675                  | 123.806                 | 84.861                   |
| <b>Diámetro base/rebrote (cm)</b>                   | 2.500                 | 1.669                       | 2.956                       | 2.907                    | 2.008                   | 1.494                    |
| <b>Volumen/rebrote (cm<sup>3</sup>)</b>             | 747.804               | 236.677                     | 761.246                     | 1261.087                 | 357.250                 | 215.435                  |
| <b>Nº Hojas/rebrote</b>                             | 641.111               | 380.333                     | 396.722                     | 136.889                  | 44.889                  | 93.389                   |
| <b>Nº Ramas/rebrote</b>                             | 57.611                | 29.389                      | 39.333                      | 3.833                    | 2.167                   | 6.722                    |
| <b>Leaf intensity (hojas/cm<sup>3</sup>)</b>        | 1.257                 | 1.653                       | 0.655                       | 0.732                    | 0.164                   | 0.799                    |
| <b>Nº rebrotes</b>                                  | 148                   | 261                         | 69                          | 24                       | 54                      | 17                       |
| <b>Proporción Hoja - Tallo</b>                      | 0.94                  | 1.41                        | 1.270                       | 0.86                     | 0.89                    | 1.06                     |
| <b>Hoja fina (%) &lt; 5mm</b>                       | 29.8                  | 35.4                        | 4.2                         | 3.5                      | 17.6                    | 28.9                     |
| <b>Tallo fino (%) &lt; 5mm</b>                      | 7.7                   | 10.9                        | 0.6                         | 0.5                      | 5.8                     | 7.8                      |
| <b>hoja gruesa (%) &gt; 5mm</b>                     | 14.9                  | 23.2                        | 49.7                        | 42.8                     | 27.1                    | 22.2                     |
| <b>Tallo grueso (%) &gt; 5mm</b>                    | 47.6                  | 30.5                        | 45.5                        | 53.2                     | 49.5                    | 41.1                     |
| <b>Biomasa KgMs/árbol</b>                           | 11.08                 | 3                           | 3.61                        | 4.39                     | 4.03                    | 0.88                     |

Fuente: Missouri Botanical Garden (2011)<sup>1</sup>; Cordero et ál. (2003)<sup>2</sup>; Sánchez (2011)<sup>3</sup>; Olivero (2011)<sup>4</sup>.