

**CARACTERÍSTICAS DE ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS  
DEL SUELO, PRODUCCIÓN FORRAJERA Y DENSIDAD  
POBLACIONAL DE LOMBRICES EN UN SISTEMA  
SILVOPASTORIL EN LA ZONA HUETAR NORTE DE COSTA  
RICA**

**HEINER RODRIGUEZ DIAZ**

Tesis presentada a la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**2011**

**CARACTERÍSTICAS DE ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS  
DEL SUELO, PRODUCCIÓN FORRAJERA Y DENSIDAD  
POBLACIONAL DE LOMBRICES EN UN SISTEMA  
SILVOPASTORIL EN LA ZONA HUETAR NORTE DE COSTA  
RICA**

**HEINER RODRIGUEZ DIAZ**

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Alberto Camero Rey, M.Sc.

---

Asesor

Ing. Agr. Milton Villarreal, Ph.D.

---

Jurado

Ing. Agr. Parmenides Furcal, M.Sc.

---

Jurado

Ing. Agr. Fernando Gómez Sánchez, M.A.E.

---

Coordinador Trabajos  
Finales de Graduación

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M.Sc.

---

Director  
Escuela de Agronomía

**2011**

## DEDICATORIA

***A Dios y a la Virgen***

*por ser mis guías*

***A Mis Padres***

*Que me dieron la vida,*

*una compañía incondicional y*

*por enseñarme a luchar por mis sueños.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a la Virgen María por dirigir mi camino hasta lograr alcanzar mis sueños.

A mis Padres por ser los forjadores de mis metas y por todos los esfuerzos realizados para que pudiese ser alguien de valor en la vida.

A mis hermanas, que con sus consejos y apoyo me impulsaron a lograr lo que hoy tengo.

A mis sobrinas, que fueron mi inspiración diaria para ser mejor día con día.

A mi abuelo por brindarme todos sus sabios consejos y apoyo incondicional.

A todo el personal docente y Administrativo del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por brindarme la oportunidad de superación y que de alguna manera me brindaron su apoyo.

A los señores Alexander Paniagua, Carlos Ramón Araya y Vinicio Salazar por toda la ayuda brindada en la fase de muestreos de campo de esta investigación

Al M.Sc. Alberto Camero Rey, por ser mi profesor asesor y guía en este trabajo de graduación.

Al Ph.D. Milton Villarreal, por ayudarme a obtener la posibilidad de vivir la experiencia de estudiar fuera del país.

Al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) por su financiamiento al proyecto.

Al señor Ronald Meléndez, por facilitar su finca para poder desarrollar mi trabajo.

A mis compañeros y amigos junto a todas las personas que me brindaron su ayuda. Gracias y que Dios los bendiga.

## TABLA DE CONTENIDOS.

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
TABLA DE CONTENIDOS. ....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE CUADROS .....	vi
LISTA DE ANEXOS .....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general .....	2
2.2 Objetivos específicos .....	2
2.3 Hipótesis técnica .....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
3.1 Importancia de los sistemas silvopastoriles .....	4
3.2 Interacciones presentes en los sistemas silvopastoriles .....	6
3.3 Generalidades de la <i>Brachiaria brizantha</i> CV.. Toledo (CIAT 26110) ...	7
3.4 Generalidades del poró ( <i>Erythrina berteroana</i> ) .....	8
3.5 Generalidades del madero negro ( <i>Gliricidia sepium</i> ) .....	9
3.6 La lombriz de tierra en el suelo .....	10
3.7 Cantidad y calidad nutricional de la biomasa en un sistema silvopastoril .....	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
4.1 Localización .....	15
4.2 Período experimental .....	16
4.3 Establecimiento del ensayo.....	16
4.4 Manejo del Experimento.....	16
4.5 Tratamientos y diseño experimental .....	17
4.6 Variables Evaluadas.....	19
4.6.1 Propiedades fisicoquímicas en el suelo.....	19

4.6.2	Densidad y caracterización poblacional de lombrices en el suelo	19
4.6.3	Biomasa del componente arbóreo .....	20
4.6.4	Biomasa del componente pasto asociado .....	20
4.6.5	Determinación del contenido de materia seca del componente arbóreo y gramínea asociada .....	20
4.6.6	Valor nutricional de la gramínea asociada .....	21
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
5.1	pH y contenido de materia orgánica (MO) en el suelo .....	22
5.2	Densidad poblacional de lombrices en el suelo. ....	24
5.3	Biomasa del Componente Arbóreo. ....	26
5.4	Biomasa del componente pasto asociado.....	27
5.4.1	Rendimiento de materia seca (kg MS) corte <sup>-1</sup> y año <sup>-1</sup> .....	27
5.4.2	Valor nutricional de la gramínea asociada.....	28
5.5	Rendimiento total de biomasa (kg MS ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) del sistema. ....	30
6.	CONCLUSIONES .....	31
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	32
8.	ANEXOS.....	38

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Distribución mensual de la precipitación en la zona de estudio durante el período experimental. (Estación meteorológica ICE Peñas Blancas) .....	15
<b>Figura 2.</b> Distribución de los Tratamientos en el en el área experimental. ....	17
<b>Figura 3.</b> Diseño de la unidad experimental según tratamiento.....	18
<b>Figura 4.</b> Contenido de acidez (pH) en el suelo de un sistema silvopastoril. Zona Huetar Norte, 2010.....	23
<b>Figura 5.</b> Contenido de materia orgánica en el suelo de un sistema silvopastoril. Zona Huetar Norte, 2010. ....	23
<b>Figura 6.</b> Población de lombrices en el suelo de un sistema silvopastoril. Zona Huetar Norte, 2010.....	26

## LISTA DE CUADROS

	Página
<b>Cuadro 1.</b> Efectos de los tratamientos sobre los valores de pH y contenido de materia orgánica en el suelo .....	22
<b>Cuadro 2.</b> Efecto de los tratamientos sobre la densidad poblacional de lombrices en el suelo.....	24
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de materia seca.....	27
<b>Cuadro 4.</b> Efecto de los tratamientos sobre el valor nutricional de la gramínea asociada. ....	28
<b>Cuadro 5.</b> Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento total de biomasa (kg MS ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) del sistema. ....	30



## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Resultado de Análisis de Suelo al Inicio del Experimento (muestreo 1). Febrero del 2009.....	38
<b>Anexo 2.</b> Resultado de Análisis de Suelo al Final del Experimento (muestreo 2). Setiembre del 2010. ....	39
<b>Anexo 3.</b> ANDEVA Rendimiento de MS de Brachiaria kg MS ha-1 corte-1.....	40
<b>Anexo 4.</b> ANDEVA Rendimiento de MS de Brachiaria kg MS ha-1 año-1.....	40
<b>Anexo 5.</b> ANDEVA Número de lombrices.....	41
<b>Anexo 6.</b> ANDEVA Contenido de materia orgánica en el suelo .....	41
<b>Anexo 7.</b> ANDEVA Valor de pH en el suelo.....	42
<b>Anexo 8.</b> ANDEVA Contenido de PC en la Brachiaria.....	42
<b>Anexo 9.</b> ANDEVA Contenido de FAD .....	43
<b>Anexo 10.</b> ANDEVA Contenido FND .....	43
<b>Anexo 11.</b> ANDEVA Rendimiento total de biomasa en el sistema .....	44

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar algunas características fisicoquímicas en el suelo, la densidad poblacional de lombrices, la producción y valor nutricional del forraje producido, se condujo el presente trabajo donde se evaluaron tres sistemas de producción: T1 (*Gliricidia sepium* asociado a *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110); T2 (*Erythrina berteroana* asociado con *Brachiaria (Brachiaria brizantha brizantha* CV. Toledo CIAT 26110) y T3 (*Brachiaria (Brachiaria brizantha brizantha* CV. Toledo CIAT 26110 como monocultivo). La investigación se realizó en la finca del señor Ronald Meléndez, localizada en la cuenca del río Peñas Blancas, sector de Los Ángeles, Distrito San Isidro, Cantón de San Ramón, Provincia de Alajuela.

Bajo las condiciones en que se desarrolló este trabajo, no se encontraron diferencias en el suelo para los valores de pH (5,53; 5,50 y 5,60 para T1, T2 y T3, respectivamente), pero sí para el porcentaje de materia orgánica (1,23; 1,70 y 1,20, para T1, T2 y T3, respectivamente) y la cantidad de lombrices en el suelo (215, 314 y 263 lombrices m<sup>2</sup>, para T1, T2 y T3 respectivamente). Con respecto a la producción de materia seca de la *Brachiaria brizantha*, no se encontró diferencias entre tratamientos, siendo la producción estadísticamente igual en cualquiera de los sistemas estudiados (promedio de 33 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en cortes cada 30 días). La producción de biomasa del componente arbóreo fue evaluado solamente en *Erythrina berteroana* ya que *Gliricidia sepium* no sobrevivió al sistema. La producción de la biomasa de *Erythrina berteroana* fue de 2724 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con cortes cada seis meses. Para el valor nutricional del componente forrajero de la *Brachiaria brizantha*, no se encontró diferencias significativas entre tratamientos (promedios de 10,40 % PC, 33 % FAD, 56 % FND).

Es evidente los cambios si comparamos los valores de materia orgánica del suelo, densidad poblacional de lombrices y producción total de biomasa (gramínea y arbóreas) obtenidos al final del período de experimentación versus lo reportado antes de establecer los tratamientos. Se confirma un aumento de las variables mencionadas, por lo que se puede concluir en forma general que el cambio de uso del suelo de potrero bajo un monocultivo de pasto ratana (*Ischaemum indicum*) a sistemas silvopastoriles (*Erythrina berteroana* – *Brachiaria brizantha*) y/o pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) representan un cambio muy favorable al mejoramiento productivo de la biomasa producida y algunas condiciones físicas y químicas del suelo.

## ABSTRACT

This work was conducted in order to evaluate some physicochemical characteristics in the soil, the earthworm population density, production and nutritional value of forage produced where three production systems were evaluated T1 (*Gliricidia sepium* associated *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110), T2 (*Erythrina berteroana* associated with *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110) and T3 (*Brachiaria brizantha* CV. Toledo brizantha CIAT 26110 as a monoculture). The research was developed in the farm of Mr. Ronald Meléndez, located in Los Angeles, San Isidro district, Canton of San Ramon, Alajuela Province.

Under the conditions this work was developed, no differences were found in the soil for pH values (5.53, 5.50 and 5.60 for T1, T2 and T3, respectively), however, differences were found for the percentage of organic matter (1.23, 1.70 and 1.20, for T1, T2 and T3, respectively) and the number of worms in the soil (215, 314 and 263 m<sup>2</sup> worms, for T1, T2 and T3 respectively). With respect to dry matter production of *Brachiaria brizantha*, no differences were found among treatments, being the production statistically similar in any of the systems studied (average 33 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> in cuts every 30 days). Biomass production of tree components was evaluated only in *Erythrina berteroana* as *Gliricidia sepium* did not survive the system. The biomass production was berteroana *Erythrina* 2724 kg DM ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> with cuts every six months. For the nutritional value of forage component of *Brachiaria brizantha*, no significant differences between treatments (average of 10.40% CP, 33% FAD, 56% NDF).

Changes are evident when comparing the values of soil organic matter, earthworm population density and total biomass production (grasses and trees) obtained at the end of the experimental period versus what was reported before establishing the treatments. It confirms a large increase of these variables, so it can be concluded in general that the change of land use under a monoculture pasture grass Ratana (*Ischaemum indicum*) silvopastoral systems (*Erythrina berteroana* - *Brachiaria brizantha*) and / or improved pasture (*Brachiaria brizantha*) represents a very positive change to improve the production of biomass and some physical and chemical conditions of the soil.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ganadería, a pesar de su importancia y del papel relevante como actividad económica en cualquier país, generadora de productos de primerísima necesidad (carne y leche) y además fuente de trabajo y soporte socioeconómico para el sector rural, ha sido señalada como una de las principales causas de la transformación de los ecosistemas naturales. Muchas áreas boscosas han sido modificadas a áreas de pasturas por lo que en muchos casos se ha cuestionado su desarrollo en base a expansión de áreas en vez de mejorar productividad y sustentabilidad. En Costa Rica los sistemas de producción ganadera de leche, especialmente en la zona norte representan una de las actividades generadoras de recursos de mayor importancia; sin embargo, actualmente esta actividad productiva está siendo fuertemente cuestionada desde el punto de vista ambiental, dado su asocio con la degradación de los ecosistemas y contribución al calentamiento global por la producción de gases de efecto invernadero. Esta problemática sobre el calentamiento global cada vez se acrecienta más, pues la ganadería contribuye con emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y especialmente metano (CH<sub>4</sub>).

Es importante reconocer la labor de los bosques, tanto primarios como secundarios, sistemas agroforestales, pastos y rastrojos en la regulación del ciclo del carbono y en el control del cambio climático, además de considerarse como importantes sumideros de carbono. En la actualidad se ha tomado conciencia de los problemas ambientales asociados a la ganadería y se intenta que tales explotaciones sigan una tendencia más sostenible y amigable con el ambiente, por lo que en los últimos años se han implementado programas que involucran a la agroforestería con la esperanza de disminuir el impacto ambiental que genera este sector de la economía.

Combe y Budowski (1968) definen la agroforestería como el conjunto de técnicas de manejo de tierras, que implican la combinación de árboles forestales, ya sea con ganadería o con cultivos y la combinación puede ser escalonada en el tiempo o el espacio, con el objetivo de optimizar la producción por unidad de superficie, respetando el principio de rendimiento sostenido.

Los sistemas silvopastoriles son una opción de producción que se puede manejar con el fin de incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema (Sánchez 1995). Estos sistemas en suelos degradados ayudan a hacer un mejor uso de la tierra y la integración de árboles de uso múltiple permite mayor reciclaje de nutrientes y mejores condiciones ambientales para el sistema (Serrao 1991). Camero *et al.* (2000) mencionan que los sistemas silvopastoriles permiten la rehabilitación de pasturas degradadas, la prevención del deterioro de los recursos naturales y asegura la competitividad ante la apertura de mercados; conceptualizando la producción animal en el contexto de que los sistemas silvopastoriles constituyen un enfoque válido y necesario.

Con estos antecedentes el presente trabajo planteó el objetivo de conocer algunas respuestas de la contribución de un sistema silvopastoril sobre algunas propiedades fisicoquímicas y biológicas en el suelo y otros aspectos productivos y de valor nutricional de la biomasa del sistema que permitan dar pautas para sugerir y establecer sistemas productivos ganaderos más amigables con el medio ambiente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

- Evaluar características fisicoquímicas del suelo, la densidad de poblaciones de lombrices, producción y valor nutricional del forraje en un sistema silvopastoril *Gliricidia sepium* y *Erythrina berteroana* en asocio con *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 CV.. Toledo, en la Zona Huetar Norte de Costa Rica.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto del componente arbóreo sobre los contenidos de materia orgánica y pH del suelo.
- Evaluar el efecto del componente arbóreo sobre la densidad poblacional de lombrices en el suelo.
- Evaluar el efecto del componente arbóreo sobre la producción y valor nutricional de la biomasa arbórea y forrajera del sistema.

### **2.3 Hipótesis técnica**

- El asocio de componentes arbóreos con forraje, mejora los contenidos de materia orgánica del suelo, densidad poblacional de lombrices y la producción forrajera del sistema.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Importancia de los sistemas silvopastoriles

En Costa Rica los sistemas de producción ganadera, tanto de leche, carne y doble propósito, son de suma importancia para el país, esto por el suministro de bienes de consumo y la generación de empleo. Dicha actividad debe de ser sostenible; sin embargo, la actividad ganadera ha sido fuertemente cuestionada desde el punto de vista ambiental, dado su asocio con la degradación de los ecosistemas para el establecimiento de pasturas.

Camero *et al.* (2000) mencionan que la ganadería tropical basa su productividad en los pastos, siendo este sistema altamente dependiente de insumos debido a la aplicación constante de fertilizante para la regeneración de los forrajes. Consecuentemente se deben buscar estrategias con el fin de minimizar dicha dependencia. Debido a esto, nace la necesidad de desarrollar sistemas tales como los sistemas silvopastoriles, que incluyan el uso adecuado de especies arbóreas, especialmente de la familia *leguminaceae* como los elementos propiciadores de un sistema integrado (gramínea-árbol-animal); en donde los árboles activen el ciclaje y bombeo de nutrientes en el suelo, en particular del nitrógeno, además aporten materia orgánica, mejoren la estructura del suelo, así como la población de especies de macro y microorganismos que intervienen en la dinámica de ciclaje de los nutrientes en la relación planta-suelo; mientras que la sombra que proyectan atenúen la intensidad lumínica y la temperatura foliar de las plantas y mejoren también el contenido de proteína cruda de los pastos o forrajes acompañantes.

Los sistemas silvopastoriles son el asocio de especies leñosas con pasturas que serán aprovechadas por animales.

Un sistema silvopastoril es una combinación natural o una asociación deliberada de uno o de varios componentes leñosos (arbustivos y/o arbóreos) dentro de una pastura de especies de gramíneas y de leguminosas herbáceas nativas o cultivadas y su utilización con rumiantes y herbívoros en pastoreo (Combe y Budowski 1968; Nair 1985, Nair 1989).

Según Jiménez *et al.* (2001), los árboles están orientados de manera que minimizan la sombra dentro de los callejones o en líneas en contorno en laderas para minimizar la erosión. Como especies forrajeras se utilizan gramíneas erectas para corte o pastoreo tales como *Pennisetum purpureum* y *Panicum máximum* o leguminosas como *Arachis pintoi*. A veces el material de poda de las especies leñosas se utiliza como forraje en períodos de escasez. En tal caso hay que tomar en cuenta que ocurre exportación de nutrientes del sistema que puede reducir la productividad a largo plazo.

El uso adecuado de la tierra en estos sistemas, aporta un ingreso constante por las ventas del ganado y la venta selectiva de árboles maderables. La producción del forraje provee una mejor nutrición, suministrando una fuente alimenticia de calidad para la producción y crecimiento del ganado. Los productos forestales que se pueden obtener implementando en las fincas un sistema silvopastoril incluyen: madera para tablas, troncos para postes, pulpa, madera para carbón, flores ornamentales, frutas, y otros productos secundarios. Otro de los beneficios que se pueden aprovechar utilizando un sistema silvopastoril, es el aumento de la palatabilidad de algunos forrajes que al crecer bajo sombra presentan una mayor aceptación por parte del ganado, siendo estos bajos en fibra. Los árboles también contribuyen a dar sombra o protección contra vientos, reduciendo el estrés por calor o ráfagas de viento que sufren los animales (USDA 1997).

Los sistemas silvopastoriles aumentan la diversidad mejorando las interacciones presentes en el ecosistema. El forraje protege al suelo de la erosión y del viento a la vez que adiciona materia orgánica, mejorando las propiedades del suelo (USDA 1997).



### **3.2 Interacciones presentes en los sistemas silvopastoriles**

En estos sistemas se dan interacciones entre plantas leñosas perennes, vegetación herbácea, bovinos y suelo. Estos cuatro componentes a su vez se encuentran afectados por un marco regional y climático, viéndose también influenciados por aspectos sociales, culturales y económicos de los productores (Gil *et al.* 2005).

Algunas de las interacciones que han sido definidas por varios autores (Borel 1987, Borel 1993; Bronstein 1983; Montagnini 1992; Russo y Botero 1996a; Torres1983) son:

- Se incrementa el nivel de nitrógeno en el suelo debido a su capacidad de fijarlo de la atmósfera, a través de la simbiosis con bacterias en sus raíces, y por medio del aporte de materia orgánica hecho al suelo a través de la caída periódica o estacional, natural o provocada (cosecha), de hojas, flores, frutos, ramas y raíces muertas. Además, sus raíces pueden absorber nutrientes de capas profundas del suelo y traerlos a la superficie, haciéndolos disponibles para la pastura o para el cultivo agrícola asociado. En algunos casos, pueden incrementar la disponibilidad de fósforo (simbiosis con micorrizas), calcio, potasio y magnesio.
- Se mejoran las condiciones físicas del suelo (porosidad y densidad aparente). Su efecto de descompactación es positivo y relevante en áreas degradadas, a causa de la compactación del suelo, ocasionada por la mecanización y/o por el pisoteo continuo del ganado. Un caso común son las pasturas abandonadas en el trópico húmedo.
- Se crea un microclima favorable para los animales en pastoreo (sombra, menor radiación y menor temperatura).
- Puede haber interacciones negativas del animal al suelo por el hecho de que la disposición de los árboles en bloques pueden obligar a los

animales a concentrarse en áreas reducidas para sombrear y el exceso de pisoteo puede afectar la cobertura de la pastura, localizada bajo la sombra, y causar erosión y compactación localizada del suelo.

- Se acelera el reciclaje de nutrientes en el suelo, hecho a través de los residuos de los cultivos agrícolas, de los forrajes o de las heces y orina depositadas por los animales durante el pastoreo.

Se ha descrito también que los árboles aportan beneficios al suelo. Gil *et al.* (2005) indica que los árboles presentes en estos sistemas silvopastoriles, mejoran el ciclo de los nutrientes no disponibles a las raíces superficiales de los pastos o forrajes, por medio de raíces profundas y el aporte de la hojarasca, lo que contribuye a mantener la fertilidad del suelo y aumentar la materia orgánica del mismo, también crean microclimas más favorables tanto para el ganado como para el cultivo.

### **3.3 Generalidades de la *Brachiaria brizantha* CV.. Toledo (CIAT 26110)**

El pasto Toledo es una nueva alternativa forrajera correspondiente a la accesión *Brachiaria brizantha* CIAT 26110, la cual procede de Burundi, África. Es una planta que crece formando macollas y presenta una amplia adaptabilidad a diversos suelos y climas. Se considera que se desarrolla de buena manera en el trópico húmedo, pero se adapta mejor en lugares donde existan suelos de mediana y buena fertilidad. En comparación con otros cultivares de *B. brizantha*, es más resistente a las épocas secas. Es muy resistente a enfermedades fúngicas, en especial a las manchas causadas por el hongo *Rhizoctonia solani*, aunque sí es susceptible al ataque del salivazo de los pastos. En sitios donde se presenten suelos de mediana fertilidad y precipitaciones anuales mayores a los 1600 mm, el CV.. Toledo presenta rendimientos de 30 toneladas de materia seca por hectárea por año, siendo mayores a otras *Brachiarias* y muy similares a los reportados por el pasto *Panicum maximum* (Guinea). Con estos rendimientos se puede permitir a un productor utilizar cargas animales superiores a 2.5 UA/ha con un período de descanso entre pastoreos de 14 a 21 días, en especial durante las épocas de mayores precipitaciones. La planta se establece fácilmente por medio de

semilla gámica, aunque también se pueden sembrar cepas enraizadas como medio de propagación. Normalmente no sucede un cubrimiento total por parte de la planta debido a su crecimiento en macollas, sin embargo se logra una buena cobertura una vez se someta la misma al pisoteo de los animales en pastoreo ya que los tallos que son cortados y dispersados por los animales producen raíz rápidamente. Este pasto presenta contenidos de proteína cruda (PC) en las hojas de 13%, 10% y 8% a edades de rebrote de 25, 35 y 45 días, respectivamente. En estas mismas edades, la digestibilidad *in vitro* de la MS es de 67%, 64% y 60%. Se debe mencionar que debido al rápido crecimiento después del pastoreo el nivel de PC en el forraje puede ser inferior al 7%, lo cual repercute negativamente en la producción animal. Para contrarrestar esto se recomienda manejar el pastizal con altas cargas animales y pastoreos frecuentes (Lascano *et al.* 2002).

#### **3.4 Generalidades del poró (*Erythrina berteroana*)**

El poró es un árbol de tamaño pequeño o mediano, de hasta 10 m de altura. Presenta hojas alternas, con tres hojuelas de 10 a 35 cm de largo. Las flores son de color rosa o rojas, apareciendo en conjunto con las hojas en racimos terminales. Cada una de las mismas son de 5 a 10 cm de largo, con 10 estambres. Los frutos son vainas de color marrón oscuro, curvas de 10 a 30 cm de largo y sus semillas son oblongadas de color naranja y hay varias en cada vaina. Este árbol es usado comúnmente para cercas vivas. Su uso se extiende desde México hasta el norte de América del Sur. No se recomienda como especie para sombra a cultivos, ya que su tronco es bastante frágil. Se puede usar como cortina rompe vientos y como soporte para distintos cultivos. Es una especie de crecimiento rápido, su propagación es bastante fácil por medio de sus semillas, también se utilizan estaquillas o estacones de más de 2.5 m de largo. (Cordero y Boshier 2003).

Según Benavides (1995), el poró se puede propagar por estacas de 0.8 a 1.5 m de largo y más de 3.5 cm de diámetro en siembra directa (acostada en surcos), con un porcentaje de rebrote superior al 85 %, si la precipitación y la preparación del suelo durante la siembra son adecuadas. En zonas húmedas

se puede plantar durante todo el año en tanto en lugares con un período de sequía bien definida la siembra debe efectuarse al inicio de las lluvias. En áreas planas para una siembra compacta se pueden usar un espaciamiento de 0.5 m entre plantas y 1 m entre hileras. El primer corte debe efectuarse a los 12 meses de plantada y la poda se realiza cada 3 meses en zonas húmedas y cada 4 meses en zonas secas, si la planta presenta buen desarrollo.

En muchos países se usa para cercas vivas y su follaje es usado para la alimentación de las cabras y vacas, con buena aceptación por los mismos. Se puede sembrar de forma compacta plantando 25.000 árboles/ha produciendo así más de 15.000 kg de materia seca comestibles ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Camero 1991).

Su valor nutricional en cuanto a proteína cruda es muy bueno por lo cual se ha usado en alimentación de rumiantes. Estudios de laboratorio han demostrado su buen valor nutricional, entre ellos los reportados por Benavides (1995) donde indica reporta contenidos de 20 a 24 % de materia seca, 48 a 58 % de digestibilidad de la materia seca, 20 a 25 % de proteína cruda y 1,97 Mcal kg<sup>-1</sup> de MS.

Otra contribución importante de esta arbórea para la alimentación animal, es que en árboles adultos las hojas caen al suelo en la época seca, justo cuando el aporte extra de forrajes es más crítico, sin embargo, en cercas vivas manejadas con podas adecuadas, los árboles producen una alta densidad de hojas y las mismas se mantienen durante la época seca (Cordero y Boshier 2003).

### **3.5 Generalidades del madero negro (*Gliricidia sepium*)**

Es un árbol pequeño a mediano, de 2 a 15 m de altura. Por lo general presenta múltiples tallos. Es un árbol de copa abierta redondeada. Su corteza es lisa, de color pardo grisácea en ramas jóvenes o gris pálido en troncos de mayor tamaño. Sus hojas son alternas, pinnadas, de 15-35 cm de largo, compuestas por 6-24 hojuelas elípticas opuestas, terminadas en punta y de 4-8 cm de largo. Las flores son papilionadas que se disponen en racimos cortos que se curvan hacia arriba, de hasta 15 cm de largo, con 30-100 flores cada una. Cada flor

tiene una longitud de 2 cm y son de color lila o rosa. Los frutos son vainas de 15 cm de longitud aproximadamente, las vainas tiernas son de color verde rojizo y al madurar se tornan de un color marrón amarillento. Cada una de las vainas contiene 3-10 semillas en forma de lenteja de color naranja. Es uno de los árboles más comunes en toda América Central y sus usos son múltiples, por ejemplo para forraje, cercas vivas, madera y sus hojas, tallos y raíces como repelente a ciertas plagas (Cordero y Boshier 2003).

Según sea el tipo de cerca viva que se quiera implementar con este árbol se siguen distintas recomendaciones, si se trata de una cerca viva lineal, una distancia de 1-3 metros entre árboles, es una distancia adecuada. En plantaciones a lo largo de curvas de nivel se planta a 4-10 m entre líneas y 0.5 a 1 m entre plantas en la misma línea. En bancos de forraje se usan dos densidades, para tener 5000 plantas/ha se siembran en 1 x 2 m y para obtener 40000 plantas ha<sup>-1</sup> se siembran en 0.25 x 1 m (Otarola 1994).

Las hojas de este árbol tienen un elevado valor nutritivo, de 18%-30% de PC y tan solo de 13%-30% de fibra, su digestibilidad esta en un rango de 48% a 77% y presenta un bajo contenido de taninos. Sin embargo presenta un problema con la palatabilidad, pero una vez que los animales se acostumbran a su sabor, la consumen bastante bien. Para contrarrestar el problema de la palatabilidad se recomienda ensilarlas primero, para así ayudar al proceso de maduración de las mismas. Es ideal utilizar estas hojas como suplemento alimenticio (20% a 40% de la dieta). Si estos niveles se sobrepasan se pueden presentar problemas de toxicidad, aunque esto se presenta con mayor frecuencia en los no rumiantes, por lo que se recomienda utilizar esta especie como forraje para ganado vacuno, cabras y ovejas (Otarola 1994).

### **3.6 La lombriz de tierra en el suelo**

Según Martínez (1996), la lombriz de tierra favorece la fertilización del suelo, ya que al digerir la materia orgánica, depositan las excretas en el suelo, distribuyendo los nutrientes en el mismo lugar además de encontrarse disponible a las plantas. Además con su movimiento permiten que los

nutrimentos se distribuyan mejor desde la superficie a las capas profundas. Con respecto a la relación de C:P, las excretas muestran una relación mayor, en comparación con la que se encuentra en el suelo.

Por otra parte, la importancia de las lombrices en los procesos de descomposición, construcción y mantenimiento de la estructura del suelo se ha documentado, tanto en suelos de clima templado como en suelos tropicales (Gilot, 1997; Tian *et al.* 1997). Las variables ambientales puedan afectar grandemente la actividad y número de lombrices en el suelo (Tian *et al.*, 1997) por lo cual es importante tomar en cuenta la biomasa de lombrices como un indicador más de calidad de suelo. Los factores responsables de la abundancia de lombrices se pueden jerarquizar de la siguiente forma: la temperatura como punto superior jerárquico, luego factores edáficos (nutrientes en el suelo) y por último factores estacionales (lluvias, sequías) (Fragoso y Lavelle 1992).

Existen varios factores que influyen en el comportamiento de las lombrices:

- **Materia orgánica:** La fuente original, de lo que entendemos como materia orgánica en el suelo, son los restos de plantas y animales, en diferentes estados de descomposición, así como la biomasa microbiana. Estos restos tan dispares, que la bioquímica define como “polímeros de compuestos orgánicos” y que podemos denominar “materia orgánica fresca” bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos, serán sometidos a un constante proceso de transformación (Labrador 1996). Los microorganismos descomponedores de materia orgánica son la base de alimento de las lombrices, por lo que es de suma importancia que se mantenga una cobertura vegetal en el suelo, para que esta pueda ser descompuesta (Martínez 1996).
- **Humedad:** La humedad es uno de los factores junto con la alimentación de mayor importancia para las lombrices. Estos animales no cuentan con un mecanismo de conservación de agua ideal, por lo que necesitan de humedad en la pared corporal para poder realizar una respiración adecuada. A pesar de esto pueden resistir la pérdida de humedad de

hasta un 75%. El agua también juega un papel importante en su sistema locomotor ya que no podría realizarse si esta se reduce en más del 15% (Hogares Juveniles Campesinos 2005).

- **Temperatura:** En épocas frías y zonas áridas las lombrices permanecen inactivas. La temperatura promedio en la que se desarrollan las lombrices se encuentra de 0 a 35°C. Las temperaturas altas pueden provocar la muerte, al producirse desecación. La temperatura en condiciones naturales es difícil de controlar, se debe conocer las especies que se encuentran en el suelo y así poder determinar la temperatura en que estas se desarrollan y tratar crear un ambiente adecuado para las lombrices (Martínez 1996).
- **Aireación:** Las necesidades de oxígeno son mínimas, puede satisfacerlas del aire o del agua. Se ha estudiado que la lombriz prefiere suelo saturados con agua que con aire (Hogares Juveniles Campesinos 2005).
- **Luz:** Las lombrices son afectadas por la luz, por lo se desarrollan en lugares con obscuridad, esto debido a que la exposición a rayos ultravioleta las deseca ocasionándoles la muerte. Las lombrices son tolerantes a la luz roja pero evitan la luz azul, las lombrices que son más pigmentadas son menos sensibles a la luz (Martínez 1996).
- **Textura del suelo:** Los suelos sueltos, con materia orgánica y textura ligera son los más indicados para las lombrices. Los suelos que sean muy arenosos o arcillosos no son adecuados para las lombrices, a pesar de esto la lombriz puede seleccionar su hábitat (Hogares Juveniles Campesinos 2005).
- **Acidez del suelo:** Este factor es muy importante ya que determina la presencia o ausencia de lombrices. El pH influye directamente en la reproducción y alimentación. Dependiendo de la tolerancia de las lombrices a la acidez se han clasificado en basífilas, acidófilas y neutrófilas (Hogares Juveniles Campesinos 2005).

- Labranza: La preparación mecánica del suelo, exponen a la superficie aproximadamente 30 centímetros, zona donde se encuentra la mayor población de lombrices lo que provoca que estas queden expuestas al voltear la tierra, quedando expuestas a las condiciones ambientales desfavorables para su desarrollo (Martínez 1996).
- Agroquímicos: Las lombrices se ven afectadas por los agroquímicos, afectando su reproducción y nicho ecológico. Algunos de los plaguicidas que son letales son los compuestos a base de arsénico, cobre, bromuro o cloro y algunos fosforados. El efecto de los fertilizantes sobre las lombrices es poco, pero al igual que los plaguicidas su exceso puede ser nocivo (Martínez 1996).

### **3.7 Cantidad y calidad nutricional de la biomasa en un sistema silvopastoril**

Jiménez *et al.* (2001), dicen que uno de los aportes más importantes de los sistemas silvopastoriles es la conservación de los nutrientes en los ecosistemas y el aumento de la disponibilidad de algunos, en especial el nitrógeno. En lo que respecta a este elemento, los árboles pueden suministrar este nutriente por dos vías: fijación biológica por bacterias asociadas a las raíces y absorción de diferentes formas de nitrógeno de capas profundas del suelo donde las raíces de los cultivos no llegan. Los árboles traslocan e incorporan estos nutrientes en su biomasa, la cual al descomponerse los libera en las capas superficiales del suelo. Así, los nutrientes vuelven a ser disponibles también para los cultivos asociados.

En una investigación hecha por Libreros *et al.* (1994), se logró determinar que en un sistema de producción agroforestal de King grass asociado con poró, el contenido de proteína cruda (PC) del pasto fue mayor que el del pasto solo, incrementándose por efecto del depósito de follaje en el suelo. Por otra parte el contenido de materia seca (MS) y digestibilidad de materia seca (DIVMS) del pasto no se ve afectado por la asociación con la especie arbórea.



Este mismo autor menciona que con adición de follaje al suelo, se incrementa la producción de MS, MS digestible y PC del pasto, como ya se mencionó anteriormente. El pasto asociado con poró tuvo mayor producción que el pasto solo, incrementándose esta por efecto del depósito de follaje. Así mismo la sola presencia de los árboles, sin adicionar su follaje al suelo (corte y acarreo), permite incrementos importantes en la producción de biomasa del pasto asociado, en comparación con una plantación de pasto en monocultivo. La mayor sostenibilidad del sistema está dada por aquel en que ocurra mayor restitución de nutrimentos al suelo y la menor disminución de la producción entre cortes.

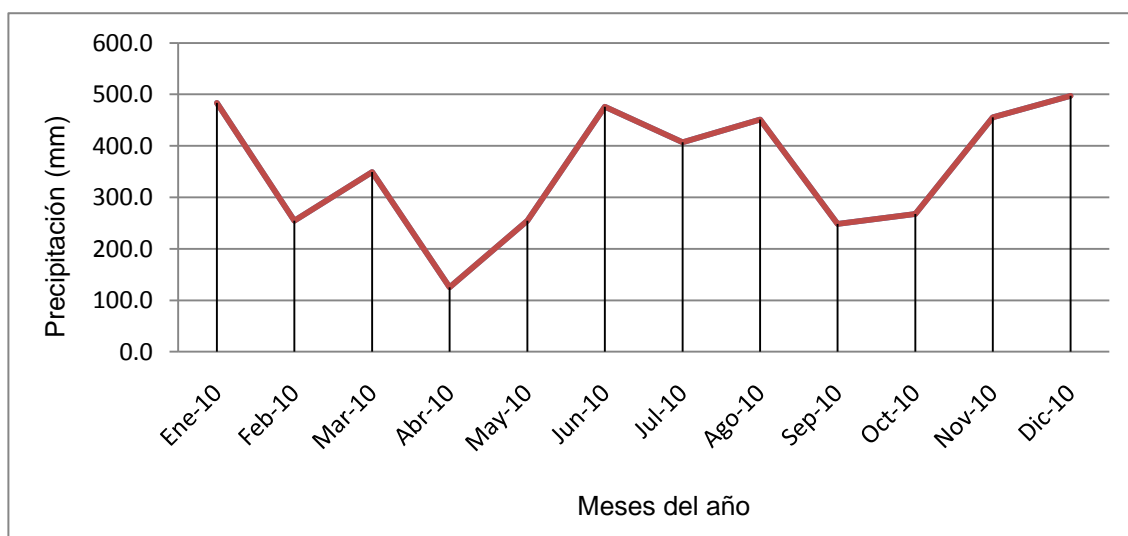
Navas (2007), dice que la producción de biomasa a partir de especies arbóreas y arbustivas permite, en épocas de buena producción de las pasturas, suplementar a los animales de manera que se llenen los requerimientos nutricionales y se mejore la producción, ya sea de carne o de leche. Así mismo, en las épocas en las cuales se reduce la producción en el potrero, los sistemas con especies leñosas pasan a ser la base de la alimentación, lo que permite conservar la carga animal en la finca y mantener o evitar la reducción drástica de la producción de leche o la pérdida de peso de los animales.

Según Daccarett y Blydenstein (1968), en América Central, una pastura creciendo bajo 50% de cobertura de poró (*Erythrina berteroana*), madero negro (*Gliricidia sepium*) y otros árboles, presentó notables incrementos en la calidad nutricional (más PC y menos contenido de fibra) y mantuvo el mismo crecimiento que pasturas a cielo abierto.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización

La investigación se desarrolló en la finca del Sr. Ronald Meléndez, localizada en la cuenca del río Peñas Blancas, sector de Los Ángeles, Distrito San Isidro, Cantón de San Ramón, Provincia de Alajuela. Localizada a 10° 30' latitud norte y 84° 32' longitud este, a una altura de 160 m.s.n.m. Las características climáticas que presenta esta zona es de una temperatura máxima de 30.1 C°, media mínima de 21.5 C° y media general de 25.6 C°, con una humedad relativa de 84%, siendo la máxima 95% y mínima 60%. Esta condición agroclimática corresponde según Holdridge (1978) a la zona de vida bosque húmedo tropical. En la Figura 1 se muestra el registro de precipitación mensual para el año 2010.



**Figura 1.** Distribución mensual de la precipitación en la zona de estudio durante el período experimental. (Estación meteorológica ICE Peñas Blancas)

## **4.2 Período experimental**

El período experimental inició a partir 12 de noviembre del 2009, día en que uniformizaron las parcelas y finalizó el 18 de agosto del 2010 cuando se realizó el último muestreo de biomasa, lombrices y suelo.

## **4.3 Establecimiento del ensayo**

El establecimiento del ensayo se inició en febrero del 2009 en un potrero dedicado a pastoreo continuo a base de ratana (*Ischaemum indicum*). Para el establecimiento de la plantación arbórea y la gramínea forrajera, se realizó inicialmente la preparación del suelo, donde se procedió a hacer una limpieza de malezas de forma mecánica y con uso de herbicida, específicamente Gramoxone (Paraquat).

La semilla de la gramínea se distribuyó al voleo en el área experimental. Se hicieron pruebas de germinación para determinar la cantidad de semilla que sería utilizada determinándose la tasa de siembra en  $7 \text{ kg ha}^{-1}$ .

El material vegetativo (estacas) de madero negro y el poró se obtuvieron de cercas vivas en crecimiento libre. Se procedió a escoger la parte media de la estaca, con un diámetro entre 8 y 12 cm y 1.5 a 2 m de largo, posterior a esto se realizó una incisión o descortezamiento de 1cm de ancho a lo largo de la estaca para beneficiar un mayor brote de raíces. Las estacas fueron sembradas en surcos de 10 cm de profundidad y 10 m de distancia entre los surcos. La forma de siembra de las estacas fue por chorro corrido.

## **4.4 Manejo del Experimento**

Para la medición de las variables establecidas en el trabajo se procedió de la siguiente manera:

- Muestreo de la biomasa de la gramínea cada 30 días.
- Muestreo de la biomasa del componente arbóreo al final del período experimental.
- Muestreo de lombrices al inicio y final del período experimental.

- Muestreo de suelo al inicio (base) del establecimiento del ensayo y final del período experimental

#### 4.5 Tratamientos y diseño experimental

Para el análisis de las variables se utilizó el diseño experimental completo al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental consistió de una parcela de 1200 m<sup>2</sup>, para un total de nueve unidades experimentales. (Total de área experimental = 10.800 m<sup>2</sup>).

Se evaluaron tres tratamientos:

T1 (Mn – Br) = Madero Negro asociado con pasto *Brachiaria brizantha* Toledo.

T2 (Po – Br) = Poró asociado con pasto *Brachiaria brizantha* Toledo.

T3 (Br) = Monocultivo pasto *Brachiaria brizantha* Toledo.

La distribución de los tratamientos se realizó utilizando números aleatorios generados con Excel (Figura 2).

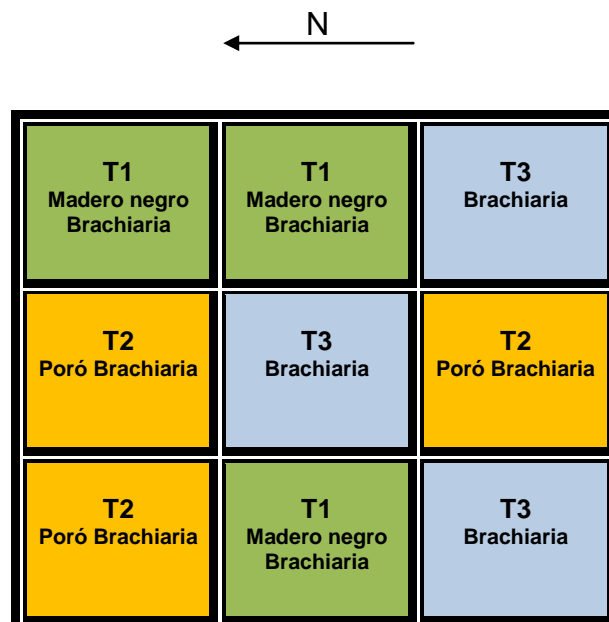
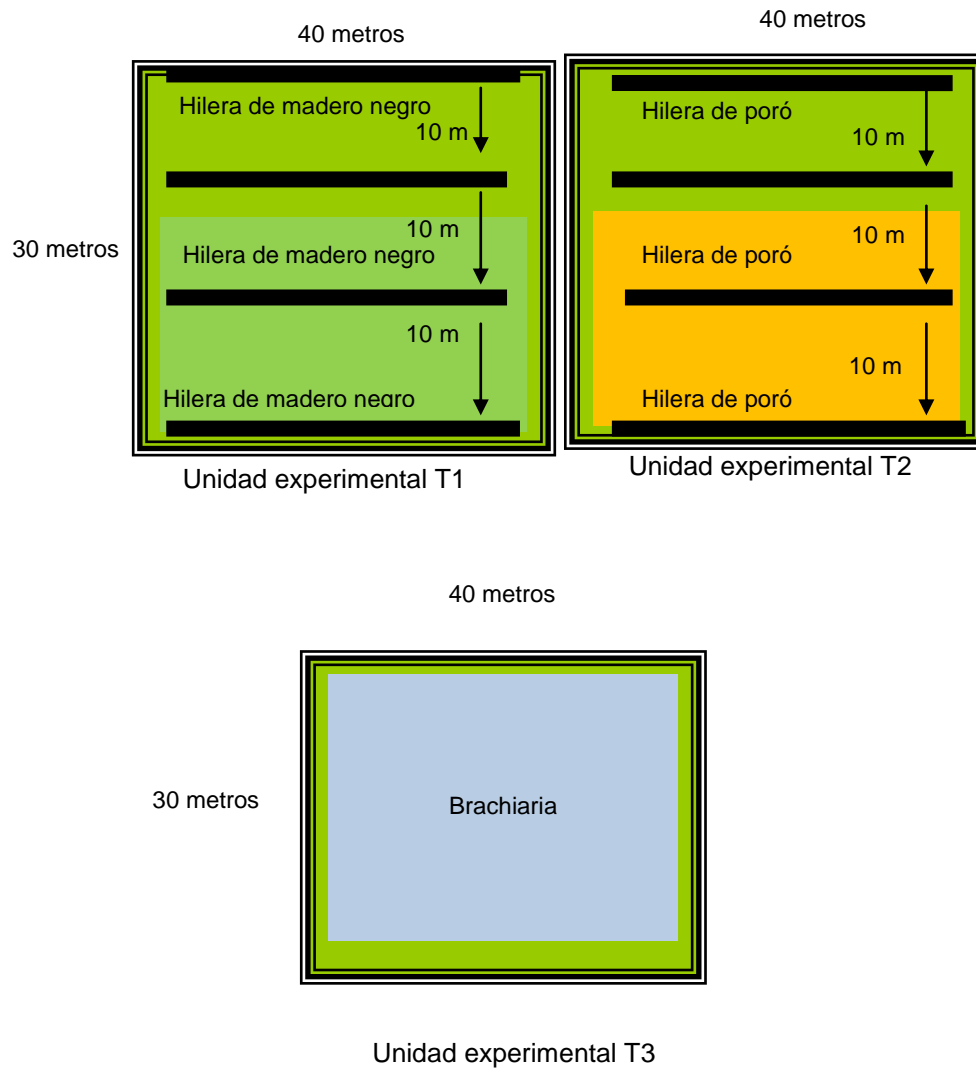


Figura 2. Distribución de los Tratamientos en el en el área experimental.

El efecto de las fuentes de variación fue analizado estadísticamente utilizando PROC Mixed del paquete estadístico SAS. Las diferencias entre tratamientos y medias de tratamientos fueron generadas utilizando la instrucción LSMEASN/PDIFF de SAS.

Detalle de las dimensiones de las parcelas y distribución espacial de la siembra del componente arbóreo se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Diseño de la unidad experimental según tratamiento.

## **4.6 Variables Evaluadas.**

### **4.6.1 Propiedades fisicoquímicas en el suelo**

Se realizaron dos muestreos de suelo, el primero de ellos al inicio del ensayo (febrero 2009) y el segundo al final del período experimental (18 agosto 2010).

En el primer muestreo, se tomaron seis muestras (tres a 15 cm y tres a 30 cm de profundidad) las cuales fueron enviadas al laboratorio para su respectivo análisis. Los resultados se pueden observar en el Anexo 1.

Para el segundo muestreo se tomaron tres puntos al azar por parcela, en cada punto se muestreó a dos profundidades, 15 cm y 30 cm con la ayuda de un barreno. Las tres submuestras de 15 cm se mezclaron de forma física en un recipiente y posterior a esto se tomó aproximadamente 300 g de esta mezcla para ser transportadas al laboratorio, el mismo procedimiento se llevó a cabo con las tres submuestras obtenidas a los 30 cm. En total, para el área experimental, se recolectaron nueve submuestras obtenidas a los 15 cm y nueve submuestras obtenidas a los 30 cm. Los resultados se pueden observar en el Anexo 2.

### **4.6.2 Densidad y caracterización poblacional de lombrices en el suelo**

Para el estudio de esta variable se hicieron dos muestreos, el primero de ellos se realizó al inicio del ensayo y el segundo al final del período experimental.

Se escogieron tres puntos al azar en cada una de las parcelas. Una vez escogido el punto y con la ayuda de una pala se abrió un hueco de 25 x 25 x 15 cm de dimensión, toda la tierra fue depositada en un estañón y posterior a esto se procedía a contar todas las lombrices que hubiesen. El mismo procedimiento se siguió para cada uno de los puntos en cada una de las parcelas. Luego de contar las lombrices, se devolvieron al suelo, manteniendo algunas muestras en solución preservante para luego poder identificarlas.

#### **4.6.3 Biomasa del componente arbóreo**

Se realizó un corte de uniformización a una altura de dos metros a los seis meses de establecido el ensayo. La cantidad de biomasa producida por el componente arbóreo fue medida al final de período experimental. En cada una de las parcelas se establecieron 4 hileras de especie arbórea. En las dos hileras centrales se procedió a cortar todas las ramas de los árboles a una altura de dos metros. Una vez cosechado el material se introdujo en un estañón y con la ayuda de una balanza se tomó el peso en campo (RMV). Posterior a esto se distribuyó el material dentro de la parcela. Con base al rendimiento de las dos hileras centrales se procedió al cálculo equivalente a rendimiento por hectárea. Las dos hileras restantes en cada parcela también fueron cosechadas a 2 m de altura.

#### **4.6.4 Biomasa del componente pasto asociado**

A los seis meses de establecida la plantación se hizo un corte de uniformización, luego cada 30 días se realizaron muestreos para producción de biomasa. Los muestreos del pasto se hicieron de forma aleatoria, bajo el método de muestreo destructivo, con la ayuda de una podadora y utilizando marcos de 50 cm x 50 cm tomando cuatro muestras por parcela a una altura de 40 cm. Una vez recolectadas, se llevaron al laboratorio de Agrostología del ITCR donde fueron pesadas con el fin de determinar el rendimiento de materia verde de las parcelas. Con base al rendimiento en las parcelas se calculó el rendimiento total por hectárea.

#### **4.6.5 Determinación del contenido de materia seca de los componentes arbóreo y gramínea asociados**

El contenido de materia parcialmente seca se determinó por secado de la muestra a 50 °C por 72 horas en un horno de aire caliente forzado. El peso de la muestra seca se determinó una vez que ésta se equilibró con la humedad ambiente (12 horas después de retiradas del horno). El porcentaje de materia seca se determinó usando la siguiente fórmula:

$$\%MS = (PMS/PMV) * 100$$

Donde:

%MS = % de materia seca

PMV = Peso de la muestra verde en gramos

PMS = Peso de la muestra seca en gramos

Posteriormente las muestras fueron molidas en un molino Wiley con criba de 1 mm y llevadas a laboratorio para determinar MS a 105 °C. La materia seca total se determinó corrigiendo la MS parcialmente según la siguiente fórmula:

$$\text{MS Total} = (\text{MS parcialmente seca} \times \text{MS a } 105\text{ }^{\circ}\text{C}) / 100$$

#### **4.6.6 Valor nutricional de la gramínea asociada**

La proteína cruda se determinó con el equipo de laboratorio “Nitrogen Analyzer Rapid N Cube” y el contenido de FAD y FND (MS a 105°C) mediante la adaptación de la metodología de Van Soest *et al* (1991) según Komarek (1993) para el equipo de laboratorio “Fiber Analyzer” (ANKOM TECHNOLOGY New York, USA).



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 pH y contenido de materia orgánica (MO) en el suelo

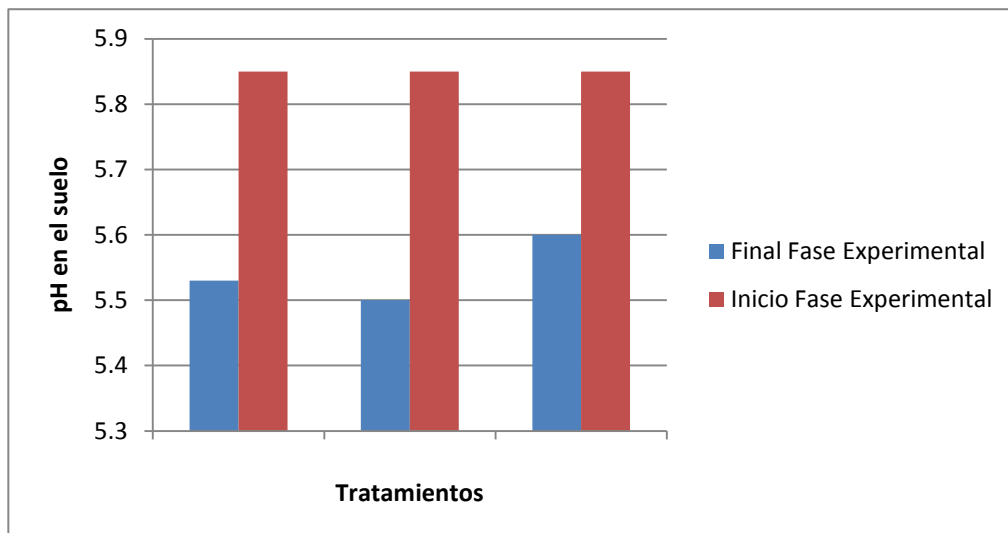
Según el análisis estadístico no se encontró diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) (Anexo 7) para los valores de pH en el suelo. Para el contenido de MO se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) (Anexo 6) siendo superior el tratamiento que incluyó el Poró como arbórea. En el cuadro 1 se muestran los valores promedios para cada una de las variables mencionadas.

**Cuadro 1.** Efectos de los tratamientos sobre los valores de pH y contenido de materia orgánica en el suelo

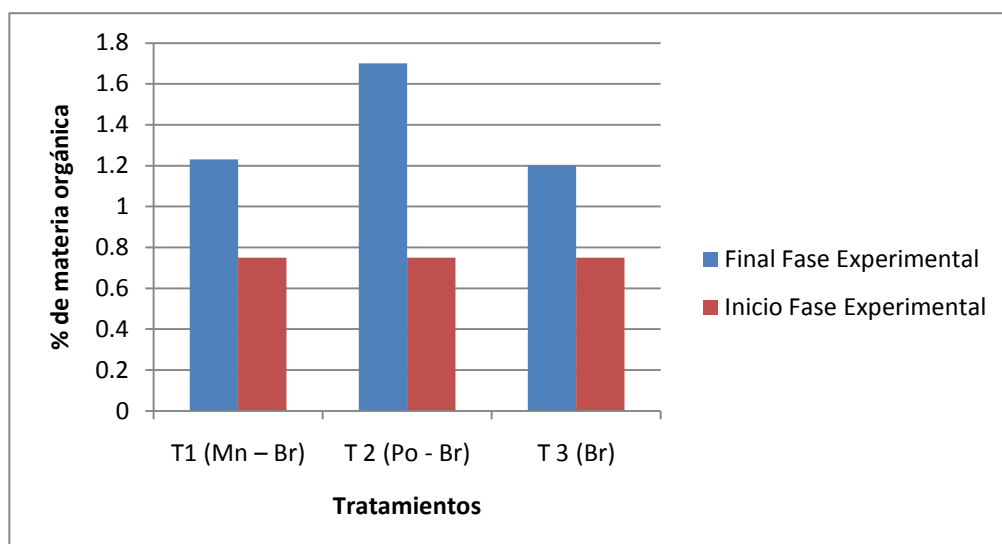
Variable de respuesta	Tratamientos		
	T1 (Mn – Br)	T 2 (Po - Br)	T 3 (Br)
pH	5.53 a	5.50 a	5.60 a
MO	1.23 b	1.70 a	1.20 b

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Según los resultados de análisis de suelo, podemos observar una reducción del valor de pH al final del período experimental si lo comparamos con el análisis base o inicial (Figura 4), esta disminución de pH podemos relacionarlo con un aumento en el contenido de materia orgánica en el suelo en cada uno de los tratamientos evaluados al final del período experimental (Figura 5).



**Figura 4.** Contenido de acidez (pH) en el suelo de un sistema silvopastoril. Zona Huetar Norte, 2010.



**Figura 5.** Contenido de materia orgánica en el suelo de un sistema silvopastoril. Zona Huetar Norte, 2010.

Al inicio del experimento, el suelo presentaba un bajo contenido de materia orgánica (0,75 %). A los 29 meses de establecido el ensayo se nota un incremento de la materia orgánica en todos los tratamientos (1,25: 1,70 y 1,25% para T1, T2 y T3, respectivamente). La superioridad del contenido de MO en el tratamiento T2 lo podemos relacionar con el aumento en la producción de

biomasa de los componentes del sistema silvopastoril (arbóreas y gramínea) datos que se presentan más adelante.

El aumento de la materia orgánica conduce a un descenso de los valores de pH, pues al aumentar el proceso de descomposición se generan ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, estos últimos debido a su elevado contenido en cargas aniónicas les confiere una gran aptitud para formar complejos estables con cationes polivalentes (Fe, Al, Cu, etc.). La abundancia de estos complejos es en parte responsable de su floculación a pH moderadamente ácidos (Labrador 1996).

## 5.2 Densidad poblacional de lombrices en el suelo.

Según el análisis estadístico se encontró diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) (Anexo 5) entre tratamientos para la variable cantidad de lombrices en el suelo, siendo mayor los valores para el tratamiento T2 sobre los otros tratamientos evaluados. En el cuadro 2 se muestran los valores totales de lombrices encontradas en el suelo.

**Cuadro 2.** Efecto de los tratamientos sobre la densidad poblacional de lombrices en el suelo.

Variable de respuesta	Tratamientos		
	T1 (Mn – Br)	T2 (Po - Br)	T3 (Br)
No. Lombrices/m <sup>2</sup>	216 b	315 a	262 b

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

La mayor cantidad de lombrices en el suelo que presenta el T2, se puede deber a que es el tratamiento que presenta mayor cantidad de biomasa. Además de esto, al existir más sombra en este tratamiento, pueden haberse aumentado los contenidos de humedad y disminuido la temperatura media en el suelo, lo cual

podría haber generado un ambiente más favorable para la población de las lombrices.

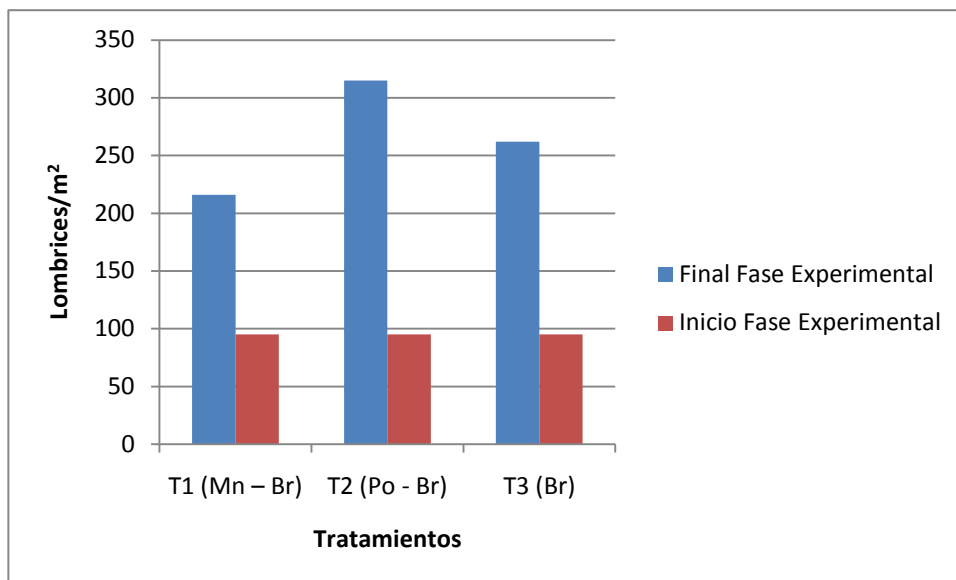
Los promedios encontrados en el presente trabajo son superiores a los reportados por Fraile (1989), con valores de 184 lombrices/m<sup>2</sup> para pasturas con *E. poeppigiana*, en Turrialba, Costa Rica. Umaña (1996), reporta datos de 92 lombrices/m<sup>2</sup> en la misma zona pero para el año 1995. Es importante señalar que el trabajo de Umaña (1996) se realizó en el mes más seco (marzo) en la zona de Guápiles, por lo que la densidad de lombrices es baja debido a una menor humedad en el suelo (Fragoso y Lavelle 1992). También Abbott y Parker (1980) y Edwards y Lofty (1980), confirman que los patrones de temperatura y precipitación afectan la actividad de los individuos, determinando su número y campo de acción.

Para el caso del presente trabajo, la humedad del suelo no se puede considerar como limitante para la distribución de lombrices ya que hubo suficiente humedad durante el período de experimentación en la zona

Otro factor asociado a la diferencia que existe entre los tratamientos es la cantidad de luz, pues como lo menciona Martínez (1996), las lombrices son afectadas por la luz, por lo se desarrollan en lugares con obscuridad, esto debido a que la exposición a rayos ultravioleta las deseca ocasionándoles la muerte. Según Fraile (1989), mencionado por Esquivel (2002), el número de lombrices es mayor para parcelas con árboles (pastizales con *E. poeppigiana*) que para parcelas sin árboles. Esto sugiere que bajo árboles de *E. poeppigiana* el hábitat tiende a ser más "natural". De hecho, la mayor cantidad de lombrices observada por Fraile (1989) fue en vegetación en libre crecimiento (227 ind/m<sup>2</sup>), donde se encontraban malezas, arbustos y árboles de diferentes alturas.

Al comparar la cantidad de lombrices al inicio (95 lombrices/m<sup>2</sup>) y al final del período experimental (Figura 6), se nota un incremento en la población en todos los tratamientos, siendo superior en el T2 (315 lombrices/m<sup>2</sup>). Esta diferencia puede estar relacionada, al igual que para materia orgánica, con mayor producción de biomasa y por ende mejores condiciones de alimentación

y un microclima (sombra y humedad) más propicio para el desarrollo y reproducción de las lombrices.



**Figura 6.** Población de lombrices en el suelo de un sistema silvopastoril. Zona Huetar Norte, 2010.

### 5.3 Biomasa del Componente Arbóreo.

En el componente arbóreo solo se midió la producción de biomasa en el Poró ya que el madero negro no persistió en el sistema. La producción promedio de biomasa para el Poró podado cada seis meses fue de 2724 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

En el caso del madero negro, la competencia con el pasto en asocio por espacio y luz fue muy evidente. El pasto logró igualar y posteriormente superar la altura de los rebrotes. En la mayoría de las parcelas sometidas a este tratamiento, no se lograba ver la especie arbórea en asocio.

Durante el periodo de establecimiento de las arbóreas se pudo observar un mayor y más rápido crecimiento del Poró respecto al madero negro. Esto hizo que durante todo el período experimental los animales al pastorear tenían la posibilidad de alcanzar los rebrotes de madero negro, con lo cual se vio afectado su crecimiento y desarrollo. Si se considera que había ramoneo cada

30 días del madero negro, es de suponer que esta frecuencia de poda o consumo por los animales afectara grandemente el desarrollo de esta especie, con la consecuente menor cantidad de rebrotes, producción final de biomasa y finalmente persistencia.

CATIE (1991) señala que para conseguir una producción alta y sostenida de biomasa en cercas vivas de madero negro lo más indicado es efectuar las podas cada seis meses y que las podas pueden hacerse tan frecuentemente como cada cuatro meses pero nunca menos porque se podría comprometer la sobrevivencia de los árboles. Estas evidencias se pueden relacionar con la menor persistencia de la especie madero negro en el sistema establecido.

En un experimento llevado a cabo por el proyecto Erythrina (CATIE 1986), se reporta una producción de biomasa fresca en un kilómetro de cerca viva a los nueve meses de 3906 kg, con una densidad de siembra de 1m entre árbol (Estrada 2001).

#### 5.4 Biomasa del componente pasto asociado.

##### 5.4.1 Rendimiento de materia seca (kg MS) corte<sup>-1</sup> y año<sup>-1</sup>.

Según el análisis estadístico no se encontró diferencias estadísticas significativas ( $p \geq 0.05$ ) (Anexo 3 y 4) para los valores de kg de MS corte<sup>-1</sup> y año<sup>-1</sup> entre tratamientos. En el Cuadro 3 se muestran los valores promedio de la variable mencionada.

**Cuadro 3.** Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de materia seca.

Variable de respuesta	Tratamientos		
	T1 (Mn – Br)	T2 (Po - Br)	T3 (Br)
Kg MS ha <sup>-1</sup> corte <sup>-1</sup>	2.816 a	2.782 a	2.785 a
Kg MS ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	33.796 a	33.392 a	33.424 a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

El contenido de materia seca del pasto se va a ver influenciado tanto por la frecuencia como por la intensidad del pastoreo, por la capacidad del mismo de interceptar la radiación solar y así poder fotosintetizar, por la capacidad de las raíces de captar las reservas orgánicas, el agua y los nutrientes almacenados a nivel de suelo, por los daños que reciban sus estructuras de desarrollo y por muchos otros factores.

En una investigación hecha por Villareal (1998) se menciona que la *Brachiaria brizantha* CIAT 26110, muestra un RMS de 20.3 t MS/ha/año en Santa Rosa de Pocosal (San Carlos), sin embargo, el mismo autor indica que en la zona de Chiriquí, Panamá, donde se reportaron 4000 mm/año de precipitaciones y a una altura de 240msnm, este mismo pasto obtuvo un RMS de 33 t MS/ha/año. Indica además, que esta *Brachiaria* puede ofrecer un mayor potencial de producción de forraje para condiciones como las de la Región Huetar Norte.

El T2 a pesar de ser el tratamiento donde el componente arbóreo presentó mayor desarrollo, el factor luz no fue limitante para el crecimiento del pasto

#### 5.4.2 Valor nutricional de la gramínea asociada

Según el análisis estadístico no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p \geq 0.05$ ) (Anexo 8, 9 y 10) entre tratamientos para las variables nutricionales (FAD, FND y PC) en la biomasa forrajera de la gramínea asociada. En el Cuadro 4 se reportan los datos para las variables nutricionales estudiadas. Las figuras 7, 8 y 9 muestran las tendencias de los valores reportados.

**Cuadro 4.** Efecto de los tratamientos sobre el valor nutricional de la gramínea a

Variable de respuesta	Tratamientos		
	T1 (Mn – Br)	T2 (Po - Br)	T3 (Br)
% FDA	33.72a	33.68a	33.93a
% FDN	56.67a	55.81a	56.97a
% PC	10.23a	10.71a	10.51a

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Según estudios realizados por Daccarett y Blydenstein (1968), manifiestan que pasturas creciendo bajo 50% de cobertura de poró (*Erythrina berteroana*), madero negro (*Gliricidia sepium*) y otros árboles, presentan incrementos en cuanto a valor nutricional (más PC y menos contenido de fibra) que pasturas a cielo abierto.

La fibra ácido detergente, el mejor predictor de la digestibilidad de un alimento, está compuesta básicamente de celulosa, lignina y sílice además, su importancia radica en que está inversamente correlacionada con la digestibilidad del forraje.

La lignina es un compuesto no glúcido de la pared celular que dificulta la accesibilidad de los microorganismos del rumen a la celulosa y la hemicelulosa, limitando la digestibilidad de esos componentes.

Los tratamientos Brachiaria asociada con madero negro y Brachiaria sola, presentaron un desarrollo muy similar, el madero negro no tuvo un desarrollo tan marcado como el Poró, por lo tanto la sombra en este tratamiento era mínima. Al haber menor cantidad de sombra en estos dos tratamientos, la luz entró de forma más directa al pasto por lo que se podría afirmar que el pastizal fotosintetizó más en estos tratamientos que en el T2 donde la incidencia de la luz fue menor. El pasto al fotosintetizar de forma más rápida madura a una edad más temprana y por lo tanto los contenidos de lignina y celulosa aumentan, en base esto se podría decir que el comportamiento de la FDN en estos tratamientos se debe al factor luz.

Respecto a los valores de PC, el T2 fue el que mostró mayor contenido, seguido del T3 y posteriormente el T1. El comportamiento de esta variable ayuda a confirmar las afirmaciones hechas tanto para el contenido de FDA y FDN, pues en pastos jóvenes los contenidos de PC son mayores que para pastos más viejos. Como se recuerda el tratamiento que se mostró menor contenido de FDN y de FDA fue el T2, siendo este mismo tratamiento el que mayor contenido de PC mostró.



En una evaluación hecha por el CIAT (2001) se determinó que la *Brachiaria brizantha* CV. Toledo, alcanza concentraciones de PC en sus hojas de un 10% a una edad de 30 días. Los valores reportados se ajustan a lo reportado por esta investigación, tomando en cuenta que los muestreos se hicieron cada mes.

### 5.5 Rendimiento total de biomasa (kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) del sistema.

El rendimiento (kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) total del sistema está dado por la sumatoria del rendimiento de la gramínea asociada y el componente arbóreo. Para este caso se encontró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) (Anexo 11) entre tratamientos. En el cuadro 5 se reportan los valores para la producción total de MS para cada tratamiento

**Cuadro 5.** Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento total de biomasa (kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) del sistema.

Variable de respuesta	Tratamientos		
	T1 (Mn – Br)	T2 (Po - Br)	T3 (Br)
Kg MS ha <sup>-1</sup> corte <sup>-1</sup>	33.796 b	36.116 a	33.424 b

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Como ya se mencionó, el madero negro no pudo desarrollarse y al final fue alcanzado y superado por el pasto en asocio, no sucediendo lo mismo con el poró.

Debido a esto se puede apreciar como el T2 es el que mayor rendimiento total de biomasa reporta. Se podría pensar que el pasto al estar asociado con el Poró se podría ver afectado en su desarrollo al estar bajo sombra y en competencia por nutrientes, sin embargo se podría llegar a pensar que este efecto del componente arbóreo se ve compensado con la contribución del mismo a aumentar los contenidos de materia orgánica en el suelo, factor que sin duda es aprovechado por el pasto para su desarrollo.

## 6. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. No se encontraron diferencias significativas para los valores de pH pero si para el contenido de materia orgánica en el suelo entre tratamientos.
2. Se encontraron diferencias significativas para los valores que reportan la cantidad de lombrices en el suelo entre tratamientos, siendo el tratamiento 2 (Poró-Brachiaria) quien presentó una tendencia superior.
3. Con respecto a la producción de materia seca de la especie forrajera, no se encontró diferencias entre tratamientos ni por corte ni por año, siendo la producción estadísticamente igual en cualquiera de los sistemas estudiados.
4. En lo que respecta a valor nutricional del componente forrajero Brachiaria, no se encontró diferencias significativas entre tratamientos.
5. El establecimiento, persistencia y producción del poró fue superior respecto al madero negro.
6. Se encontraron diferencias en la biomasa total producida en el sistema silvopastoril donde se asoció poró con Brachiaria, siendo ésta superior a los otros sistemas o tratamientos estudiados (Brachiaria con madero negro y Brachiaria en monocultivo).

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Abbott, I.; Parker, C.A. 1980. The occurrence of earthworms in the wheat-belt of Western Australia in relation to land use and rainfall. *Australian Journal of Soil Research* 18(3): 343-352.

Benavides, J. 1995. Árboles y arbustos forrajeros en América Central". Vol. II. Serie técnica, Informe técnico No. 236. Turrialba, C.R. CATIE.

Borel, R. 1987 Sistemas silvopastoriles para la producción animal en el trópico y uso de árboles forrajeros en alimentación animal. Memorias de Segunda Conferencia Nacional de producción y utilización de pastos y forrajes tropicales. VI Encuentro Nacional de Zootecnia; Cali Colombia. pp 194 233.

\_\_\_\_\_ 1993. Diseño y manejo de los sistemas silvopastoriles. Trabajo presentado en el Taller Internacional sobre "Tecnologías Agroforestales: Diseño y Manejo". Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Autónoma de Chapingo, Mexico. 23p.

Bronstein, G. 1983. Los árboles en la producción de pastos. *In*: L. Babbar (comp.). Curso Corto Intensivo sobre Prácticas Agroforestales con énfasis en la Medición y Evaluación de Parámetros Biológicos y Socio-Económicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. Mimeo, p.d.

Camero, A. 1991. Evaluación del poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook) y madero negro (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud) como suplementos proteicos para vacas lecheras alimentadas con heno de jaragua (*Hyparrhenia rufa*). Tesis, Mag. Sc, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba (Costa Rica). 91 p. Año 1991. Editorial Turrialba, CATIE, CR.

\_\_\_\_\_; Ibrahim, M.; Jair, A.; Camargo, J; 2000. Agroforestería y Sistemas de Producción Animal en Centroamérica. Intensificación de la Ganadería

de Centroamérica: Beneficios Económicos y Ambientales. CATIE, FAO, SIDE. p. 177-198.

CATIE; 1986. Final Project Technical Report: *Erythrina* spp. (Phase I: 3-p-82-0015). CATIE, Turrialba, Costa Rica. 182p

CATIE 1991. Las cercas vivas de madero negro y poró. Serie técnica 65. Turrialba, Costa Rica. 25 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2001. Red Colombiana de Brachiarias. Resumen de logros 1995-2000. Convenio Fondo Nacional de Ganaderos (Fedegan). Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural (MADR), Programa de pastos tropicales del CIAT. Manuscrito.

Combe, J.; Budowski, G. 1979. Classification of agroforestry techniques: a literature review. In: G. de las Salas (ed.). Workshop Agrofor. Systems Latin Amer. Turrialba, Costa Rica. UNU/CATIE: pp 17-47

Cordero, J.; Boshier, D.H. 2003 (eds). Árboles de Centroamérica. Un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute (OFI, Oxford University, Oxford, UK) and Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, Turrialba, Costa Rica). 1079 p.

Daccarett, M. y J. Blydenstein. 1968. La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos sobre el forraje que crece bajo ellos. Turrialba (Costa Rica) 18(4):405-408

Edwards, C.A.; Lofty, J.R. 1980. Effects of earthworm inoculation upon the root growth of direct drilled cereals. Journal of Applied Ecology. 17(3): 533-543

Esquivel, J. 2002. Comparación de Poró (*Erythrina berteroana*) y Madero Negro (*Gliricidia sepium*) en un Sistema Silvopastoril con *Brachiaria brizantha*, con una Asociación de *Brachiaria brizantha* y *Arachis pintoi*. II. Actividad Microbiana y Distribución Espacial de Lombrices. Atenas, Costa Rica.

- Estrada, J. 2001. Pastos y Forrajes para el Trópico Colombiano (en línea). Manizales, Colombia. Consultado el 18 oct. 2010. Disponible en [http://books.google.co.cr/books?id=qhbLgdouyJkC&pg=PA463&lpg=PA463&dq=Erythrina+berteroana+produccion+de+biomasa&source=bl&ots=EAKUkPq8Pk&sig=pTsmGDQmAOOoVqpvFOJWxVsH-A&hl=s&ei=Efy8TPDrOMO88gazqYiCAg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCcQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false](http://books.google.co.cr/books?id=qhbLgdouyJkC&pg=PA463&lpg=PA463&dq=Erythrina+berteroana+produccion+de+biomasa&source=bl&ots=EAKUkPq8Pk&sig=pTsmGDQmAOOoVqpvFOJWxVsH-A&hl=s&ei=Efy8TPDrOMO88gazqYiCAg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCcQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false)
- Fragoso, C.; Lavelle, P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry*. 21(12): 1397-1408.
- Fraile, J. 1989. Población de lombrices de tierra (Oligochaeta: Annelidae) en una pastura de *Cynodon plectosachyus* (Pasto estrella) asociado con árboles de *Erythrina poeppigiana* (Poró), una pastura asociada con árboles de *Cordia alliodora* (Laurel), una pastura sin árboles y vegetación a libre crecimiento, en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C. R., CATIE. 236 p.
- Gil, L.; Espinoza, Y.; Obispo, N. Setiembre-Diciembre 2005. Relaciones Suelo-Planta- Animal en Sistemas Silvopastoriles (en línea). CENIAP (Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Venezuela) no.9. Consultado 9 nov. 2008. Disponible en [http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy3/articulos/n9/arti/gil\\_l/arti/gil\\_l.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy3/articulos/n9/arti/gil_l/arti/gil_l.htm)
- Gilot, C. 1997. Effects of a tropical geophageous earthworm, *M. anomala* (Magascolecidae), on soil characteristics and production of a Yam crop in Ivory Coast. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(3/4): 353-359.
- Hogares Juveniles Campesinos. 2005. Manual Cría de la Lombriz de Tierra: Una alternativa Ecológica y Rentable (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado el 15 oct. 2010. Disponible en <http://books.google.co.cr/books0el%20comportamiento%20de%20las%20lombrices%20de%20tierra&f=false>

- Holdridge, L.R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica. IICA 206 p.
- Jiménez, F.; Muschler, R.; Köpsell, E. 2001. Módulo de enseñanza agroforestal: Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, CR. CATIE (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CR) 187 p.
- Labrador, J. 1996. La materia Orgánica en los Agroecosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 174 p.
- Lascano, C.; Perez, R.; Plazas, C.; Medrano, J.; Perez, O.; Argel, P. 2002. Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110) Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana. Villavicencio, Imágenes Gráficas S.A. Consultado 03 set. 2010. Disponible en [http://webapp.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/brachiaria\\_brizantha\\_CV.\\_toledo.pdf](http://webapp.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/brachiaria_brizantha_CV._toledo.pdf)
- Liberos, H.; Benavides, J.; Kass, D.; Pezo, D. 1994. Productividad de una plantación asociada a poró (*Erythrina poeppigiana*) y King grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*). I. Efecto de la adición de follaje al suelo sobre la producción y calidad de la biomasa. In. Benavides, J. Arboles y Arbustivos Forrajeros en América Central. Turrialba, CR. CATIE (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CR) p. 453-473.
- Martínez, C. 1996. Potencial de la Lombricultura: Factores que influyen en el comportamiento de las lombrices; Influencia de la lombriz de tierra en el suelo. Ed. A Carballo; S Bravo. México, Casa editorial. 140 p. es un copyright.
- MONTAGNINI, F. 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2 ed. San José, Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales (OET). 622 p.

- Navas, A. 2007. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles (en línea). ACOVEZ no. 16. Consultado 25 nov. 2008. Disponible en [http://www.produccionbovina.com/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvopastoril/85-sistemas.pdf](http://www.produccionbovina.com/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/85-sistemas.pdf)
- Nair, P.K.R. 1985. Classification of agroforestry systems. Working paper no. 28. Nairobi, Kenya. ICRAF. 52p.
- Nair, P.K.R. 1989. Classification of agroforestry systems. In: P.K.R. Nair (ed.). Agroforestry systems in the tropics. Dordrecht, The Netherland. Kluwer Academic Press/ICRAF. pp 39-52.
- Otarola, A. 1994. Cercas vivas de Madero Negro: una técnica agroforestal promisoría para el Pacífico seco de Nicaragua (en línea). Turrialba, CATIE. Consultado 12 oct. 2009. Disponible en <http://books.google.com/books?id=dMOOAyiq7QgC&pg=PA13&lpg=PA13&dq=madero+negro+generalidades&source=bl&ots=UGlu63dEqD&sig=q0dDX18ZbKjHj9cUIN6R6gJ4GyQ&hl=ge&q&f=false>
- Russo, R.O.; Botero, R. 1996. Nitrogen fixing trees for animal production on acid soils. In: Powell, M.H. (ed.). Nitrogen fixing trees for acid soils: a field manual. Nitrogen Fixing Tree Association (NFTA). Morrilton, Arkansas. pp 31-39.
- Sánchez, P.A. 1995. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical america. *Advances in Agronomy* 34: 279-398.
- Serrao, E.A.S. 1991. Sustainability of pastures replacing forests in the Latin America humid tropics: The Brazilian Experience. Paper presented at the DESFIL humid tropical lowlands conference held in Panamá City, June 17-21. 26 p.
- Tian, G.; Kang, B.T.; L. Brussard, L. 1997. Effect of mulch quality on earthworm activity and nutrient supply in the humid tropics. *Soil Biology and Biochemistry*. 29(3/4): 369-373.

- Torres, F. 1983. Role of woody perennials in animal agroforestry. *Agroforestry systems*. 1:131-168
- Umaña, C. 1996. Mineralización de la materia orgánica del suelo bajo tres ecosistemas del trópico húmedo en Costa Rica. Tesis Lic. en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia. C.R., UCR. 74 p.
- USDA (Departamento de Agricultura, US). Servicio Forestal. Estación de las Montañas Rocosas. Noviembre, 1997. Notas de Agroforesteria. (en línea). Consultado 10 nov. 2008. Disponible en <http://www.unl.edu/nac/agroforestrynotes/an08s01-e.pdf>
- Villareal, M. 1998. Alternativas forrajeras para el mejoramiento de los sistemas de producción ganadera. Informe final de Proyecto de Investigación. ITCR Sede San Carlos-CONCIT. Alajuela, Costa Rica.



## 8. ANEXOS.

### Anexo 1. Resultado de Análisis de Suelo al Inicio del Experimento (muestreo 1). Febrero del 2009.



Instituto Nacional de Innovación y  
Transferencia en Tecnología Agropecuaria

*Laboratorio de Suelos*  
Tel-Fax: 291-5236  
e-mail: labsuelosmag@yahoo.com

IDENT.		cmol(+)/l					mg/l							
# LAB.	Profundidad	pH	AL	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe	M.O.	ppm-B	
1309	0-15 cm	5,9	0,15	4,0	1,1	0,10	3	1,7	5	5	45	0,82	0,3	
1310	0-15 cm	5,8	0,15	3,1	1,2	0,10	4	1,7	4	5	38	0,82	0,2	
1311	15-30 cm	5,9	0,20	4,6	1,4	0,28	3	2,1	4	6	27	0,82	0,3	
1312	15-30 cm	5,8	0,20	4,1	1,2	0,26	3	2,8	4	8	33	0,52	0,3	
1313	1 m	5,7	0,15	8,5	2,6	0,22	3	8,0	4	17	88	0,36	0,1	
1314	1 m	6,0	0,20	7,9	3,3	0,27	3	5,5	3	13	44	0,36	0,2	

**Anexo 2.** Resultado de Análisis de Suelo al Final del Experimento (muestreo 2). Setiembre del 2010.



Instituto Nacional de Innovación y  
Transferencia en Tecnología Agropecuaria

Laboratorio de Suelos  
Tel-Fax: 291-5236  
e-mail: labsuelosmag@yahoo.com

FECHA:  
16/09/10

FAX: Herbert Villalobos

FAX: 8720-3566 2240-7765

IDENT.		cmol(+)/l					mg/l							
# LAB.	Profundidad	pH	AL	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe	M.O.	ppm-B	
1603 T2	0-15 cm	5,4	0,25	4,4	1,2	0,60	10	2,5	62	6	119	1,80	0,3	
1604 T2	15-30 cm	5,7	0,20	3,8	0,8	0,26	6	1,4	22	4	40	1,35	0,2	
1605 T1	0-15 cm	5,3	0,25	3,2	0,9	0,38	10	2,2	61	7	129	1,50	0,3	
1606 T1	15-30 cm	5,3	0,25	3,6	0,8	0,15	3	1,0	22	3	31	1,21	0,2	
1607 T3	0-15 cm	5,3	0,30	3,3	1,0	0,48	11	2,4	59	7	139	1,50	0,2	
1608 T3	15-30 cm	5,7	0,20	3,2	0,8	0,17	5	1,0	21	3	40	1,21	0,3	
1609 T1	Compuesta	5,3	0,30	2,8	0,8	0,38	15	2,1	52	7	120	1,25	0,2	
1610 T2	Compuesta	5,6	0,20	4,2	1,0	0,34	6	1,7	30	4	63	1,70	0,3	
1611 T3	Compuesta	5,5	0,25	3,3	0,9	0,26	6	1,9	37	6	83	1,25	0,3	

### Anexo 3. ANDEVA Rendimiento de MS de Brachiaria kg MS ha<sup>-1</sup> corte<sup>-1</sup>

#### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	0.23	0.7995

#### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2816.33	38.8258	6	72.54	<.0001
TRT	2	2782.67	38.8258	6	71.67	<.0001
TRT	3	2785.33	38.8258	6	71.74	<.0001

#### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	33.6667	54.9080	6	0.61	0.5623
TRT	1	3	31.0000	54.9080	6	0.56	0.5928
TRT	2	3	-2.6667	54.9080	6	-0.05	0.9628

### Anexo 4. ANDEVA Rendimiento de MS de Brachiaria kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>

#### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	0.23	0.7995

#### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	33796	465.91	6	72.54	<.0001
TRT	2	33392	465.91	6	71.67	<.0001
TRT	3	33424	465.91	6	71.74	<.0001

#### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	404.00	658.90	6	0.61	0.5623
TRT	1	3	372.00	658.90	6	0.56	0.5928
TRT	2	3	-32.0000	658.90	6	-0.05	0.9628

## Anexo 5. ANDEVA Número de lombrices

### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	5.04	0.0519

### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	215.67	22.0471	6	9.78	<.0001
TRT	2	314.67	22.0471	6	14.27	<.0001
TRT	3	263.00	22.0471	6	11.93	<.0001

### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	-99.0000	31.1793	6	-3.18	0.0192
TRT	1	3	-47.3333	31.1793	6	-1.52	0.1798
TRT	2	3	51.6667	31.1793	6	1.66	0.1486

## Anexo 6. ANDEVA Contenido de materia orgánica en el suelo

### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	211.00	<.0001

### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	1.2333	0.01925	6	64.09	<.0001
TRT	2	1.7000	0.01925	6	88.33	<.0001
TRT	3	1.2000	0.01925	6	62.35	<.0001

### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	-0.4667	0.02722	6	-17.15	<.0001
TRT	1	3	0.03333	0.02722	6	1.22	0.2666
TRT	2	3	0.5000	0.02722	6	18.37	<.0001

## Anexo 7. ANDEVA Valor de pH en el suelo

### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	1.00	0.4219

### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	5.5333	0.05092	6	108.67	<.0001
TRT	2	5.5000	0.05092	6	108.02	<.0001
TRT	3	5.6000	0.05092	6	109.98	<.0001

### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	0.03333	0.07201	6	0.46	0.6597
TRT	1	3	-0.06667	0.07201	6	-0.93	0.3903
TRT	2	3	-0.1000	0.07201	6	-1.39	0.2143

## Anexo 8. ANDEVA Contenido de PC en la Brachiaria

### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	2.23	0.1882

### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	10.2333	0.1732	6	59.08	<.0001
TRT	2	10.7333	0.1732	6	61.97	<.0001
TRT	3	10.3667	0.1732	6	59.85	<.0001

### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	-0.5000	0.2449	6	-2.04	0.0873
TRT	1	3	-0.1333	0.2449	6	-0.54	0.6058
TRT	2	3	0.3667	0.2449	6	1.50	0.1851

## Anexo 9. ANDEVA Contenido de FAD

### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	0.87	0.4662

### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	33.6333	0.1764	6	190.68	<.0001
TRT	2	33.6667	0.1764	6	190.87	<.0001
TRT	3	33.9333	0.1764	6	192.38	<.0001

### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	-0.03333	0.2494	6	-0.13	0.8981
TRT	1	3	-0.3000	0.2494	6	-1.20	0.2744
TRT	2	3	-0.2667	0.2494	6	-1.07	0.3262

## Anexo 10. ANDEVA Contenido FND

### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	2.07	0.2077

### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	56.6000	0.4792	6	118.11	<.0001
TRT	2	55.7667	0.4792	6	116.38	<.0001
TRT	3	57.1333	0.4792	6	119.23	<.0001

### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	0.8333	0.6777	6	1.23	0.2648
TRT	1	3	-0.5333	0.6777	6	-0.79	0.4612
TRT	2	3	-1.3667	0.6777	6	-2.02	0.0903

## Anexo 11. ANDEVA Rendimiento total de biomasa en el sistema

### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	2	6	9.76	0.0130

### Least Squares Means

Effect	TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	33796	466.95	6	72.38	<.0001
TRT	2	36116	466.95	6	77.34	<.0001
TRT	3	33424	466.95	6	71.58	<.0001

### Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
TRT	1	2	-2320.33	660.37	6	-3.51	0.0126
TRT	1	3	372.00	660.37	6	0.56	0.5936
TRT	2	3	2692.33	660.37	6	4.08	0.0