

Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huetar Norte de Costa Rica

Chemical properties of soil, forage production and population density of earthworms in a silvopastoral system in the Zona Huetar Norte of Costa Rica

Alberto Camero-Rey¹, Heiner Rodríguez-Díaz²

Fecha de recepción: 23 de mayo del 2014

Fecha de aprobación: 5 de agosto del 2014

Camero-Rey, A; Rodríguez-Díaz, H. Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huetar Norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 1, Enero-Marzo. Pág 91-104.

1 Escuela de Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono: (506)24013006. Correo electrónico: acamero@itcr.ac.cr

2 Agropecuaria Hei. Costa Rica. Teléfono: (506)87081433. Correo electrónico: agrohei@gmail.com

Palabras clave

Brachiaria brizantha; *Erythrina berteroana*; sistema silvopastoril; materia orgánica; lombrices; producción forrajera.

Resumen

El presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de evaluar algunas características químicas del suelo, la densidad poblacional de las lombrices y la producción y el valor nutricional del forraje producido. Para esto se evaluaron dos sistemas de producción: T1= *Erythrina berteroana* asociada con *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110, y T2= *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110 como monocultivo. La investigación se realizó en una finca situada en la cuenca del río Peñas Blancas, sector de Los Ángeles, distrito San Isidro, cantón de San Ramón, provincia de Alajuela, Costa Rica. No se encontraron diferencias estadísticas ($p \geq 0.05$) en el suelo para los valores de pH (5.50 y 5.60 para T1 y T2, respectivamente), pero sí para el porcentaje de materia orgánica (1.70 y 1.20 para T1 y T2, respectivamente) y la cantidad de lombrices en el suelo (314 y 263 lombrices/m², para T1 y T2, respectivamente). Con respecto a la producción de materia seca de *Brachiaria brizantha*, no se encontraron diferencias ($p \geq 0.05$) entre tratamientos, siendo la producción estadísticamente igual en cualquiera de los sistemas estudiados (un promedio de 33 t ha⁻¹ año⁻¹ en cortes cada 30 días). La producción de la biomasa de *Erythrina berteroana* fue de 2.724 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ con cortes cada seis meses. Para el valor nutricional del componente forrajero de *Brachiaria brizantha*, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) para cada uno de los sistemas evaluados (un promedio de 10,40% PC, 33% FAD, 56% FND).

Keywords

Brachiaria brizantha; *Erythrina berteroana*; silvopastoral systems; organic matter; worms; forage production.

Abstract

This work was conducted in order to evaluate some chemical characteristics in the soil, the earthworm population density, production a nutritional value of forage produced where two systems were evaluated: T1= *Erythrina berteroana* associated with *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110 and T2= *Brachiaria brizantha* CV. Toledo CIAT 26110 as a monoculture. The research was developed in the farm located in Los Angeles, San Isidro district, Canton of San Ramon, Alajuela Province, Costa Rica. Under the conditions this work was developed, no differences were found in the soil for pH values (5.50 and 5.60 for T1, y T2, respectively), however, differences were found for the percentage of organic matter (1.70 and 1.20, for T1 y T2, respectively) and the number of worms in the soil (314 y 263 m₂ worms, for T1 y T2 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⁻¹ yr⁻¹ in cuts every 30 days). The biomass production was *Erythrina berteroana* 2.724 kg DM ha⁻¹ yr⁻¹ with cuts every six months. For the nutritional value of forage component of *Brachiaria brizantha*, no significant differences between treatments where found (average of 10.40% CP, 33% FAD, 56% NFD).

Introducción

En Costa Rica, los sistemas de producción ganadera de leche, especialmente en la zona norte, constituyen una de las actividades generadoras de recursos económicos de mayor importancia. Sin embargo, esta actividad productiva está fuertemente cuestionada desde el punto de vista ambiental, dado que se le asocia con la degradación de los ecosistemas y la contribución al calentamiento global por la emisión de gases de efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono (CO₂), amoníaco (NH₃), óxido nitroso (N₂O) y especialmente metano (CH₄).

Estos efectos antropogénicos, derivados de manera directa o indirecta en los sistemas de producción ganadera, han creado mayor conciencia de los problemas asociados a la ganadería y se intenta que tales explotaciones sigan una tendencia más sostenible y amigable con el ambiente. En los últimos años se han implementado programas basados en conceptos de agroforestería, como alternativa para disminuir el impacto ambiental de este sector de la economía.

Según Pezo e Ibrahim (1999), 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. En suelos degradados, estos sistemas ayudan a hacer un mejor uso de la tierra y la integración de árboles de uso múltiple permite un mayor reciclaje de nutrientes y mejores condiciones ambientales. Camero y colaboradores (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 los mercados, conceptualizando la producción animal en el contexto de que los sistemas silvopastoriles constituyen un enfoque válido y necesario.

El presente trabajo se planteó el objeto de evaluar algunas características químicas del suelo, la densidad de poblaciones de lombrices, la producción y el valor nutricional del forraje en un sistema de monocultivo a base de *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 CV. Toledo y un sistema silvopastoril *Erythrina berteroana* en asocio con *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 CV. Toledo, en la Zona Huetar Norte de Costa Rica.

Importancia de los sistemas silvopastoriles

Camero y colaboradores (2000) indican que la ganadería tropical basa su productividad en los pastos, siendo este sistema altamente dependiente de los insumos, debido a la aplicación constante de fertilizante para regenerar los forrajes, lo que indirectamente impacta de manera negativa la biodiversidad y promueve la emisión de gases de efecto invernadero. Las ideas en pro del uso de alternativas que van de la mano con la necesidad de desarrollar sistemas como los silvopastoriles no son nuevas. Estos sistemas se basan en la combinación natural o una asociación deliberada de uno o varios componentes leñosos (arbustivos y/o arbóreos), dentro de una pastura de especies de gramíneas y leguminosas herbáceas nativas o cultivadas y su utilización con rumiantes y herbívoros en pastoreo (Combe y Budowski, 1979; Nair, 1985; Nair 1989).

Los sistemas silvopastoriles incluyen el uso adecuado de especies arbóreas, especialmente de la familia Leguminosae, como los elementos propiciadores de un sistema integrado (gramínea-árbol-animal). En este tipo de sistema, los árboles activan el reciclaje y bombeo de nutrientes en el suelo, en particular del nitrógeno, aportan materia orgánica, mejoran la estructura del suelo, así como la población de especies de macro y microorganismos que intervienen en la dinámica del reciclaje de nutrientes en la relación planta-suelo. Casasola y colaboradores (2005) señalan que la sombra que proyectan los árboles atenúa la intensidad lumínica y la temperatura foliar de las plantas y también mejora el contenido de proteína cruda de los pastos o forrajes acompañantes.

Interacciones presentes en los sistemas silvopastoriles

Si se tienen árboles y/o arbustos en asocio con pastos, entre ellos pueden presentarse relaciones de interferencia y facilitación. La competencia por espacio, agua, luz y nutrientes, así como los efectos alelopáticos, son manifestaciones de interferencia. En cambio, la fijación de nitrógeno, la transferencia de nutrientes y la protección son ejemplos de relaciones de facilitación (Ojeda et al., 2013).

En estos sistemas se dan interacciones entre plantas leñosas perennes, vegetación herbácea, bovinos y suelo. Estos cuatro componentes a su vez son afectados por un marco regional climático y también son influenciados por aspectos sociales, culturales y económicos de los productores (Gil et al., 2005). La relación entre la vegetación, ya sea establecida naturalmente o cultivada, y el ganado no es unidireccional. Rusch y Skarpe (2009) indican que esta interacción no se debe entender simplemente como el efecto del ganado sobre las plantas, sino como una en la cual las respuestas de la vegetación determinan, a su vez, la conducta de pastoreo del ganado. En este mismo orden, Fernández y colaboradores (2007) señalan que las complejidades de estas interacciones mediadas por el sombreado de los árboles disminuyen la disponibilidad de luz, la evapotranspiración de la vegetación herbácea y, en algunos casos, el contenido de nutrientes en el suelo.

Las especies arbóreas poseen distinta capacidad para absorber y traslocar los nutrientes del suelo a sus hojas. Según Aponte y colaboradores (2010), estos procesos de traslado o retorno de elementos minerales provoca cambios en la acidez y disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo cual genera modificaciones en el hábitat y en los recursos disponibles para los organismos del suelo y, por ende, cambio en las comunidades de micro y macrofauna. Gil y colaboradores (2005) reafirman lo anterior al indicar que los árboles presentes en los sistemas silvopastoriles mejoran el ciclo de los nutrientes no disponibles para 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 en él; también crean microclimas más favorables tanto para el ganado como para el cultivo.

Jiménez y colaboradores (2001) mencionan 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. Los árboles traslocan e incorporan estos nutrientes en su biomasa, que al descomponerse los libera en las capas superficiales del suelo. Así, los nutrientes vuelven a estar disponibles también para cultivos asociados.

Generalidades de *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 de diversos suelos y climas. Se considera que se desarrolla de buena manera en el trópico húmedo, pero se adapta mejor en lugares donde existen suelos de mediana y buena fertilidad. Toledo presenta rendimientos de 30 toneladas de materia seca por hectárea por año, siendo mayores a otras *Brachiaris* 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⁻¹ con el período de descanso entre pastoreo de 14 a 21 días, en especial durante las épocas de mayor precipitación. Este pasto presenta contenidos de proteína cruda (PC) en las hojas de 13%, 10% y 8% a edades de rebrote de 25, 30 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., 2000).

Generalidades del poró (*Erythrina berteroana*)

El poró es un árbol de tamaño pequeño o mediano, de hasta 10 m de altura. Presenta hojas alterna, 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. 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 García (2010), 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 muchos países se usa para cercas vivas y su follaje para la alimentación de cabras y vacas, con buena aceptación por parte de estos animales. Se puede sembrar de forma compacta plantando 25,000 árboles ha⁻¹ y produciendo así más de 15,000 kg de MS comestibles ha⁻¹ año⁻¹ (Odalís et al., 2006).

La lombriz de tierra en el suelo

La materia orgánica del suelo es incorporada paulatinamente por acción de la mesofauna de lombrices, contribuyendo a mejorar su estabilidad y la capacidad de infiltración del agua (Ojeda et al., 2013). Según Martínez (1996), las lombrices de tierra favorecen la fertilización del suelo ya que, al digerir la materia orgánica, depositan las excretas en él, distribuyendo los nutrientes en el mismo lugar, además de encontrarse disponible para las plantas. Asimismo, con su movimiento permiten que los nutrimentos se distribuyan mejor desde la superficie hasta las capas profundas.

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 tropicales (Gilot, 1997; Tian et al., 1997). Las variables ambientales pueden afectar mucho la actividad y EL número de lombrices en el suelo (Tian et al., 1997), por lo tanto es importante tomar en cuenta la biomasa de lombrices como un indicador más de la calidad del suelo.

Cantidad y calidad nutricional de la biomasa en un sistema silvopastoril

En la nutrición de rumiantes, los follajes arbóreos son un grupo de alimentos suplementarios que no han sido totalmente explotados en los sistemas de alimentación en el trópico, a pesar de que proveen nitrógeno degradable en rumen y de sobrepaso, energía digestible y minerales en cantidades adecuadas para ser utilizadas, especialmente como complemento de dietas básicas (Pinto-Ruiz et al., 2005). Navas (2007) apunta que, en épocas de buena producción de las pasturas, la producción de biomasa a partir de especies arbóreas y arbustivas permite dar un suplemento a los animales a fin de llenar sus requerimientos nutricionales y mejorar la producción, ya sea de carne o de leche. Asimismo, en épocas en las que 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. En los sistemas silvopastoriles se dan interacciones positivas y negativas, especialmente entre los árboles y la pastura. Existen

reportes (Daccaret y Blydenstein, 1968; Wilson, 1982; Bustamante, 1991; Belsky, 1992; Carvalho et al., 1994; Zelada, 1996), citados por Piñero (2011), según los cuales las pasturas que crecen bajo diferentes coberturas arbóreas presentan notables incrementos en su calidad nutricional, manteniendo el mismo rendimiento en materia seca que pasturas en monocultivos.

Desarrollo de la experimentación

La duración del período experimental fue de dos años y se inició con el muestreo básico del suelo y biomasa forrajera. El ensayo se estableció en un potrero dedicado a pastoreo continuo cuya base forrajera era ratana (*Ischaemun indicum*, Houtt; sin. *I. ciliare*, Retz). Para el establecimiento de la plantación arbórea y la gramínea forrajera, se procedió a hacer una limpieza de malezas de forma mecánica (dos pases de rastra). Antes de la siembra, una vez aparecido rebrotes de maleza, se aplicó herbicida herbicida (Paraquat) La semilla de gramínea se distribuyó al voleo en el área experimental. Se hicieron pruebas de germinación y pureza para calcular la cantidad de semilla comercial que se utilizaría. Se determinó la tasa de siembra en 4 kg ha^{-1} para una población aproximada de 250,000 plántulas/ha. El material vegetativo (estacas) de poró se obtuvo de cercas vivas en crecimiento libre. Se procedió a escoger la parte media de la estaca, con un diámetro de entre 8 y 12 cm y 1,5 a 2 m de largo, después de esto se hizo una incisión o descortezamiento de 1 cm de ancho a lo largo de la estaca para beneficiar un mayor brote de raíces. Las estacas se sembraron en surcos de 10 cm de profundidad y 10 m de distancia entre ellos. La forma de siembra de las estacas fue por “chorro corrido”.



Figura 1. Sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociada con *Erythrina berteroana*. Foto A. Camero.

Tratamientos y diseño experimental

Para el análisis de las variables se utilizó un diseño experimental completo al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental consistió de una parcela de 1200 m^2 , para un total de seis unidades experimentales (total de área experimental = 7200 m^2).

Se evaluaron dos tratamientos:

T1 (Po-Br)= Poró asociado con pasto *Brachiaria brizantha* CV Toledo.

T2 (Br) = Monocultivo pasto *Brachiaria brizantha* CV Toledo.

El efecto de las fuentes de variación se analizó estadísticamente utilizando PROC Mixed del paquete SAS. Las diferencias entre medias de tratamiento se generaron utilizando la instrucción LSMEASN/PDIFF de SAS.

Variables evaluadas

Propiedades químicas del suelo

Se realizaron dos muestreos de suelo, uno al inicio del ensayo y otro al final del período experimental. En el primero se tomaron seis muestras (tres a 15 cm y tres a 30 cm de profundidad). En el segundo 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 luego se tomaron aproximadamente 300 g de esta mezcla para enviarlos 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. Ambas muestras se enviaron al laboratorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) para determinar el pH y contenido de materia orgánica.

Densidad y caracterización poblacional de lombrices en el suelo

Para el estudio de esta variable se hicieron dos muestreos; el primero se realizó al inicio del ensayo y el segundo al final del período experimental. Se seleccionaron tres puntos al azar en cada una de las parcelas. Luego, con la ayuda de una pala, se procedió a abrir un hueco de 25 x 25 x 15 cm de dimensión en cada punto; toda la tierra de cada punto fue depositada por separado en un estañón y se procedió a contar todas las lombrices que había en ella. Luego de contar las lombrices, se devolvieron al suelo.

Biomasa del componente arbóreo

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

Biomasa del componente asociado

A los cuatro meses de establecida la plantación se hizo un corte de uniformización, luego cada 30 días se realizaron muestreos para la producción de biomasa. Los muestreos de pasto se hicieron de forma aleatoria, según 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 Análisis Agronómicos del ITCR, Sede San Carlos, donde se pesaron con el fin de determinar el rendimiento de materia

verde de las parcelas. Con base en el rendimiento en las parcelas se calculó el rendimiento total por hectárea.

Determinación del contenido de materia seca del componente arbóreo y gramíneo asociado

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 retirada 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 se molieron las muestras en un molino Wiley con criba de 1 mm y luego se determinó la MS a 105 °C. La materia seca total se determinó corrigiendo la MS parcialmente según la siguiente fórmula:

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

Valor nutricional de la gramínea asociada

La proteína cruda se determinó con el equipo de laboratorio “Nitrogen Analyzer Rapid N Cube (Elementar, Alemania)” y el contenido de FAD y FND (MS a 105 °C) usando el equipo de laboratorio “Fiber Analyzer” (Ankom Technology New York, USA).

Resultados y discusión

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

No se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) para los valores de pH en el suelo. Para el contenido de MO se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), 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. Valores de pH y contenido de materia orgánica en el suelo.

| Variable de respuesta | T 1 (Po – Br) | T 2 (Br) |
|-----------------------|---------------|----------|
| pH | 5.50 a | 5.60 a |
| MO | 1.70 a | 1.20 b |

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

No obstante, comparando los valores de pH obtenidos al inicio (5,85) y al final del período experimental (1,70 y 1,20 para T1 y T2, respectivamente), se determinó una reducción de éste. Esta disminución se puede relacionar con un aumento en el contenido de materia orgánica en el suelo en cada uno de los tratamiento evaluados, ya que al inicio el suelo presentaba 0,75%

de contenido de materia orgánica, alcanzando a los 29 meses de establecido el ensayo 1,70% y 1,25% para T1 (Po-Br) y T2 (Br), respectivamente.

La superioridad del contenido de MO en el tratamiento T1 (Po-Br) se puede relacionar con el aumento en la producción de biomasa de los componentes del sistema silvopastoril (arbóreas y gramíneas), datos que se presentan más adelante.

En concordancia con lo anterior, Labrador (1996) señala que el aumento de la materia orgánica conduce a un descenso de los valores de pH, pues al aumentar el proceso de su 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.

Densidad poblacional de lombrices en el suelo

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos para la variable cantidad de lombrices en el suelo, siendo mayores los valores para el tratamiento del sistema silvopastoril con respecto al monocultivo de pastura. En el cuadro 2 se muestran los valores totales de lombrices encontradas en el suelo.

Cuadro 2. Densidad poblacional de lombrices en el suelo.

| Variable de respuesta | T1 (Po-Br) | T2 (Br) |
|------------------------------|------------|---------|
| No. lombrices/m ² | 315 a | 262 b |

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Al comparar la cantidad de lombrices al inicio (95 lombrices/m²) y al final del período experimental, se nota un incremento en la población en los dos sistemas evaluados, siendo superior en el silvopastoril (315 lombrices/m²). Esta diferencia puede estar relacionada con una mayor producción de materia orgánica. Además de esto, al existir más sombra en este tratamiento, puede haber aumentado el contenido de humedad y disminuido la temperatura media en el suelo, lo que podría haber generado un ambiente más favorable para el desarrollo y reproducción de la población de lombrices.

Los promedios encontrados en el presente trabajo son superiores a los reportados por Fraile (1989), con valores de 184 lombrices/m² para pasturas con *E. poeppigiana*, en Turrialba, Costa Rica. Umaña (1996) reporta datos de 92 lombrices/m² 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, 1993).

Un factor asociado a la diferencia que existe entre los tratamientos es la cantidad de luz, pues, como menciona Martínez (1996), las lombrices son afectadas por la luz, por lo que se desarrollan en lugares con obscuridad, debido a que la exposición a los 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 lombrices/m²), donde se encontraban malezas, arbustos y árboles de diferentes alturas. Esto sugiere una mejor salud del suelo y mejores condiciones para cierta macrofauna.

Producción de biomasa del componente arbóreo

La producción promedio de biomasa para el poró podado cada seis meses fue de 2.724 kg MS ha⁻¹ año⁻¹. 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 3.906 kg, con una densidad de siembra de 1 m entre árboles (Estrada, 2001).

Producción de biomasa (kg MS corte⁻¹ y año⁻¹) de la gramínea asociada

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) para los valores de kg de MS corte⁻¹ y año⁻¹ entre los sistemas evaluados. En el cuadro 3 se muestran los valores promedio de la variable mencionada.

Cuadro 3. Rendimiento de materia seca de *Brachiaria brizantha*.

| Variable de respuesta | T1 (Po-Br) | T2 (Br) |
|--|------------|----------|
| kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹ | 2.782 a | 2.785 a |
| kg MS ha ⁻¹ año ⁻¹ | 33,392 a | 33,424 a |

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

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

En experimentos realizados por Villarreal (1998) se menciona que *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 muestra un rendimiento de 20.3 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en Santa Rosa de Pocosol (San Carlos), sin embargo, el mismo autor indica que en la zona de Chiriquí, Panamá, donde se reportaron 4000 mm año⁻¹ de precipitaciones y a una altura de 240 msnm, este mismo pasto obtuvo un rendimiento de 33 t MS ha⁻¹ año⁻¹. Indica, además, que esta *Brachiaria* puede ofrecer un mayor potencial de producción de forraje pero en condiciones de mejor fertilidad que las que presenta la zona de Santa Rosa de Pocosol.

Valor nutricional de la gramínea asociada

De acuerdo con el análisis estadístico, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) 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.

Cuadro 4. Valor nutricional de la *Brachiaria brizantha*.

| Variable de respuesta | T1 (Po-Br) | T2 (Br) |
|-----------------------|------------|---------|
| % FDA | 33.68a | 33.93a |
| % FND | 55.81a | 56.97a |
| % PC | 10.71a | 10.51a |

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Según estudios realizados por Daccarett y Blydenstein (1968), pasturas que crecen bajo 50% de cobertura de poró 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 estos componentes.

En una evaluación hecha por el CIAT (2001), se determinó que *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.

Rendimiento total de biomasa (kg MS ha⁻¹ año⁻¹) del sistema

El rendimiento (kg MS ha⁻¹ año⁻¹) total del sistema lo da la sumatoria del rendimiento de la gramínea asociada y el componente arbóreo. Para este caso se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. En el cuadro 5 se reportan los valores para la producción total de MS para cada tratamiento.

Cuadro 5. Rendimiento total de biomasa (kg MS ha⁻¹ año⁻¹).

| Variable de respuesta | T1 (Po-Br) | T2 (Br) |
|--|------------|----------|
| kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹ | 36,116 a | 33,424 a |

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

En el cuadro anterior se puede apreciar como el sistema silvopastoril T1 (Po-Br) es el que reporta mayor rendimiento total de biomasa. 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 puede decir 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, tal como sugieren los resultados en el cuadro 3.

Consideraciones generales

En un sistema silvopastoril no necesariamente los árboles y/o arbustos cumplen un propósito forrajero. Para el caso de esta investigación, es claro el beneficio directo en el suelo y su microfauna, pero se pueden adicionar otros beneficios no cuantificados, tales como:

- Aumento en el bienestar animal, ya que los árboles pueden estar contribuyendo a la reducción de la temperatura por efecto de su sombra, que favorece la eliminación de calor por evaporación y reduce la carga calórica de los animales, con lo que aumenta su productividad.
- La sombra también tiene implicaciones directas sobre el comportamiento, la reproducción y la supervivencia.
- Se puede considerar un incremento de la productividad del recurso suelo y el beneficio neto del sistema a largo plazo.
- Es posible asumir una reducción de riesgo a través de la diversificación de productos y servicios del sistema.
- Reducción de los efectos detrimentales del estrés climático sobre plantas y animales.
- Aumento de la biodiversidad

Conclusiones

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

- No se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) para los valores de pH pero sí para el contenido de materia orgánica en el suelo entre el sistema silvopastoril y el basado en *Brachiaria* como monocultivo.
- Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para los valores que reportaron la cantidad de lombrices en el suelo entre tratamientos, siendo el sistema silvopastoril el que presentó los mayores valores.
- Con respecto a la producción de materia seca de la especie forrajera, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) entre los sistemas evaluados, ni por corte ni por año, siendo la producción estadísticamente igual en cualquiera de los dos.
- En lo que respecta al valor nutricional del componente forrajero *Brachiaria*, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los dos sistemas evaluados.
- Se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en la biomasa total producida en el sistema silvopastoril, siendo superior a la del sistema *Brachiaria* en monocultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Instituto Tecnológico de Costa Rica y al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) por el financiamiento de esta investigación. A Ronald Meléndez, por facilitar su finca para desarrollar este trabajo. A Alexander Paniagua, Carlos Ramón Araya y Vinicio Salazar, por toda la ayuda brindada en la fase de muestreos de campo.

- Nair, P. K. R. (1989). Classification of agroforestry systems. (pp 39-52). En P. K. R. Nair (Ed.). *Agroforestry systems in the tropics*. The Netherlands: Kluwer Academic Press/ICRAF.
- Odalys, T., Iglesias, J. M. & Reino, J. (2006). Comportamiento del germoplasma arbóreo forrajero en condiciones de Cuba. *Pastos y Forrajes*, 29(4).
- Ojeda, P., Restrepo, J., Villada, D. & Gallego, C. (2013). Sistemas silvopastoriles, una opción para el manejo sostenible de la ganadería. Santiago de Cali, Colombia: FIDAR, PRONATURA, CIAT.
- Pezo, D. & Ibrahim, M. (1999). Sistemas silvopastoriles. Turrialba, C.R.: CATIE-GTZ.
- Pinto-Ruiz, R., Gómez, H., Martínez, B., Hernández, F., Medina, F., Gutiérrez, R., Escobar, E. & Vázquez, J. (2005). Árboles y arbustos forrajeros del sur de México. *Pastos y Forrajes*, 28(2).
- Piñeros, R., Mora, D. & Holguín, A. (2011). Respuesta del pasto *Bothriochloa saccharoides* a diferentes intensidades de sombra simulada en el valle cálido del Magdalena en el Tolima (Colombia). *Corpoica Cienc. Technol. Agropecu.* 12(1), 42-50.
- Rusch, G. & Skarpe, C. (2009). Procesos ecológicos asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*, 47, 12-17.
- Tian, G., Kang, B. T. & 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.
- Umaña, C. (1996). *Mineralización de la material orgánica del suelo bajo tres ecosistemas del trópico húmedo en Costa Rica*. Tesis Lic. en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.
- Villarreal, M. (1998). *Alternativas forrajeras para el mejoramiento de los sistemas de producción ganadera*. Informe final de Proyecto de Investigación. Alajuela, C.R.: ITCR Sede San Carlos-CONCIT.