

“Características Químicas de un Suelo Ácido y Composición Mineral de *Brachiaria humicola* Bajo un Sistema Silvopastoril con *Acacia mangium*”

Diana María Bolívar Vergara¹, Muhammad Ibrahim² y Donald Kass³

¹Mg. Sc. Sistemas Agrosorestales, CATIE, Costa Rica

²Profesor- Investigador, CATIE, Costa Rica

³Profesor- Investigador, CATIE, Costa Rica

Correspondencia:

Diana María Bolívar Vergara

Karr 80 N° 52 B 69 Medellín Antioquia.

Tels: 2 34 46 32 Medellín / 8 60 13 62 (Santa Rosa de Osos, Antioquia)

E-mail: silvopas@perseus.unalmed.edu.co

Resumen

En América Latina existen alrededor de 50 millones de hectáreas en pasturas permanentes (FAOSTAT, 1995) de las cuales, aproximadamente el 50% se encuentran en estado avanzado de degradación (Serrao, 1991). Actualmente se está evaluando la *Acacia mangium*, como opción para la recuperación de suelos degradados. En los sitios donde se reporta la introducción de acacia, no se dan a conocer datos sobre usos en sistemas silvopastoriles, sin embargo, por las características que posee esta especie, presenta potencial para ser introducida en estos sistemas. El propósito del presente estudio fue evaluar la contribución de *Acacia mangium* en diferentes épocas sobre la fertilidad del suelo y sobre la composición mineral de *B. humicola*.

La acacia no afectó los contenidos de Ca, Mg, K, Mn, en el suelo, ni el pH y la acidez intercambiable, aunque el Ca, K y Mn tendieron a ser mayores en el sistema silvopastoril. (SSP). Igualmente no afectó el contenido de minerales foliares. La acacia aumentó significativamente los contenidos de humedad P, N, amonio y nitratos en 15, 98, 38, 53 y 177% respectivamente. La *B. humicola* presentó mayor contenido de PC en el SSP (4.7%), comparado con 3.2% sin asociación.

La humedad, el pH, nitratos y fósforo fueron mayores en la época lluviosa; la acidez fue superior en la época seca. El pasto presentó mayores niveles de Ca, K y P en la época lluviosa y mayor Mn en la época seca.

Palabras claves: amonio, fertilidad, fósforo, humedad, nitratos, nitrógeno, trópico húmedo.

Introducción

El 55% (822 millones de ha) de los suelos de América Tropical son considerados de baja fertilidad (oxisoles y ultisoles), los cuales presentan limitaciones principalmente químicas para la producción de cultivos (Sánchez e Isbell, 1979), incluyendo deficiencias de P, N, K, S, Ca, Mg y Zn, toxicidad por aluminio y la alta retención de fósforo (Sánchez y Salinas, 1982).

La utilización de algunas especies arbóreas multipropósito, puede ser una alternativa para la rehabilitación de suelos marginales en el trópico, debido a la renovación constante de la fertilidad a retornar al suelo, hojas, frutos y ramas (Serrao, 1991). En los sistemas silvopastoriles (SSP), el retorno de materia orgánica y elementos nutritivos de los animales dependen de su distribución y movilidad en

el pastizal, de la composición química de las excreciones (heces y orina), así como de las raíces de los pastos, malezas y árboles y de la hojarasca proveniente de las especies vegetales existentes (Fassbender, 1993).

La mayoría de estudios realizados en zonas tropicales, han demostrado que los árboles y arbusto leguminosas tienen la capacidad de fijar una alta cantidad de N (hasta 150 kg/ha) (Ibrahim, 1994; Abarca, sin pub) y éste contribuye al mejoramiento en el nivel de N en el suelo y en el pasto (Bustamante, 1991; Bronstein, 1984; Belsky, 1992; Carvalho, 1994; Daccarett y Blyndestein, 1968). Además de fijar N, los árboles tienen raíces que pueden absorber nutrientes de capas profundas del suelo y bombearlos a la superficie, haciéndolos disponibles para la pastura (Kass *et al.*, 1985; Mazzarino *et al.*, 1993), mejorar la materia orgánica, reducir la lixiviación y mejorar las propiedades físicas del suelo (Schroth, 1995).

La presencia de árboles en las pasturas también puede afectar la concentración de minerales en el pasto. En diferentes estudios (Belsky, 1992; Carvalho, *et al.*, 1994; Carvalho, *et al.*, 1995), se ha evaluado el comportamiento de algunas gramíneas tropicales bajo diferentes especies arbóreas, encontrando que las plantas sombreadas presentaron mayor porcentaje de P, K, Ca, B y Cu.

Acacia mangium Will., es una leguminosa bien adaptada a suelos ácidos, con una buena capacidad de fijar nitrógeno, convirtiéndose en una posible alternativa para la recuperación de suelos degradados. En este sentido se ha reportado un mejoramiento significativo de los contenidos de carbono orgánico, fósforo extraíble, calcio y densidad aparente del suelo en los primeros 15 cm, después de tres años de establecida (Fisher, 1995). Sin embargo, en otros estudios realizados en el trópico húmedo de Panamá muestran que la capacidad de esta especie para mejorar suelos ácidos es limitada (González, 1997).

En países como Panamá, Colombia y Costa Rica, se está estableciendo en grandes áreas marginales *A mangium* para ser manejadas bajo SSP, pero existe poca información sobre la contribución de esta especie en el mejoramiento del suelo. El objetivo del presente ensayo fue determinar el efecto de *Acacia mangium* sobre el contenido mineral del suelo y del follaje de *Brachiaria humidicola* en un sistema silvopastoril manejado bajo pastoreo.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El experimento se realizó en la Estación Experimental de Calabacito, ubicada en la Provincia de Veraguas, Panamá. El sitio está localizado a 8° 15' de Latitud Norte y 81° 05' de Longitud Oeste, a una elevación de 100 msnm, con una precipitación media anual de 2500 mm distribuidos entre mayo y diciembre y temperatura promedio anual de 27 °C., correspondiendo a la zona de vida bosque húmedo tropical (Holdridge, 1978). La topografía de terreno es del 2%.

El suelo es un Typic Plinthudult, fino, mezclado isohipertérmico, profundo, ácido, de estructura e bloques subangulares y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 14 cmol (+) / kg. Presenta concentraciones altas de aluminio (4.3 meq/100 ml) y a los 60 cm de profundidad plintita, la cual es una barrera para crecimiento de las plantas.

Los análisis de suelos y concentración de minerales foliares se realizaron en el laboratorio de suelos de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Descripción de los experimentos

Los árboles de *Acacia mangium* fueron plantados en agosto de 1994, a 3 m entre árboles y 8 m entre hileras. El estudio se realizó entre diciembre de 1997 y julio de 1998. Se realizaron dos muestreos, e primero en febrero de 1998, coincidiendo con la época de mayor sequía y el segundo se realizó a fin de julio, correspondiendo a la época lluviosa.

Se realizaron dos experimentos; en el primero se comparó la composición mineral del suelo y de la *B. humidicola* en una parcela establecida con gramínea sola (BMC), con respecto al contenido mineral de suelo y del pasto en el sistema silvopastoril de *Acacia mangium* con *B. humidicola* (SSP). Para ello se utilizaron parcelas de 18 m², escogidas al azar. En las parcelas con acacia, esta área correspondió a cuatro árboles de una misma hilera incluyendo un metro a cada lado de los árboles, donde hay una alta influencia de la copa. Las muestras de suelos fueron recolectadas a una profundidad de 0 a 20 cm y estuvieron compuestas por 16 submuestras tomadas a lo largo de la línea de árboles, a 1 m de distancia a cada lado. En las parcelas de BMC se tomaron ocho submuestras al azar, para cada muestra. En todos los casos se evitó tomar muestras en los sitios donde hubo deposición de excretas.

Se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo de parcelas divididas, donde las parcelas grandes correspondió al tipo de sistema (*B. humidicola* como monocultivo y un sistema silvopastoril con acacia) y las subparcelas estuvieron constituidas por la época (época seca y época lluviosa). Cada tratamiento contó con cinco repeticiones para un total de diez parcelas grandes.

En el segundo experimento se evaluó el efecto de la acacia sobre el contenido mineral del suelo y de la *B. humidicola* a tres distancias del árbol (1, 2.5 y 4 m). El tamaño de las parcelas fue de 72 m², compuesta por cuatro árboles y 4 m de distancia lateral a cada lado de éstos. Cada muestra estuvo conformada por 16 submuestras tomadas a lo largo de la línea de árboles, a 1 m en ambos lados; igualmente se hizo para las distancias de 2.5 y 4 m. Se utilizó un diseño de parcelas divididas las parcelas grandes estuvieron constituidas por las distancias al árbol (1, 2.5 4m) y las subparcelas por la época (seca y lluviosa). Cada parcela contó con cinco repeticiones para un total de 15 parcelas grandes

Todas las parcelas fueron pastoreadas con una misma carga animal de 2 UGG/ha y un ciclo de pastoreo de 27 días (tres de ocupación y 24 de descanso). Las muestras de pasto se tomaron a los 24 días de rebrote.

En ambos experimentos los análisis estadísticos se realizaron por el procedimiento de Análisis de Varianza (SAS, 1985) y se realizó un análisis de residuos a todas las variables para verificar el cumplimiento de los supuestos, para esto se utilizó el procedimiento de Proc Univariate, para normalidad y Proc Discrim para homogeneidad de varianzas, tanto por sistema, como por época. Las interacciones se analizaron por Ls Means (SAS, 1985).

En el segundo experimento, en el cual se estudió el efecto de la Acacia en las diferentes distancias se hizo comparaciones de medias mediante la prueba Tukey (Steel y Torrie, 1988). Adicionalmente se hizo una prueba de Sphericity por medio de la prueba de Mauchly, utilizando el PROC GLM y el comando REPEATED de SAS (Kuehl, 1994)), la cual es utilizada para analizar los datos cuando se toman diferentes mediciones sobre una misma unidad experimental, para verificar de que no existiera autocorrelaciones entre las medidas tomadas en las tres distancias, ya que estas no fueron aleatorizadas.

Análisis químicos

Las muestras de suelo y pasto fueron refrigeradas durante el transporte al laboratorio de suelos del CATIE, donde posteriormente se secaron a 60 °C, durante 48 horas, para realizar los correspondiente análisis químicos. Para la determinación de amonio y nitratos se utilizaron las muestras frescas.

A las muestras de suelos se les determinó: pH; acidez intercambiable, Ca, Mg, y K (Cmoles(+)/l) y P y Mn (mg / l). El pH fue extraído en solución de H₂O y determinado en potenciómetro; la acidez intercambiable, extraída con KCL 1N y determinada por titulación con NaOH 0.01 N; el Ca y Mg, extraídos en KCL 1N y determinado con espectrofotómetro de absorción atómica (EAA); K y Mn, extraídos por el método de Olsen modificado (MOM) y determinado con EAA; y P, extraído por MOM y determinado por colorimetría con azul de Mb (Díaz Romeu, 1978; Bertsch, 1995).

A las muestras frescas se les determinó N total, Nitratos y Amonio: El N total se determinó por semi-microKjeldahl (Jackson, 1982). Nitratos y Amonio se extrajeron con KCL 2 N y se determinaron por destilación utilizando MgO como reactivo alcalino, y aleación de Devarda, como agente reductor (Methods of soil analysis, 1982).

Para la determinación de la humedad gravimétrica del suelo, se tomaron las muestras en un cilindro metálico previamente pesado y posteriormente se secaron a 105 C° durante 24 horas previamente pesadas, al cabo de este tiempo se pesaron nuevamente para estimar el porcentaje de humedad.

Al pasto se les determinó la concentración de Ca, Mg y K por absorción atómica de una alícuota diluida del extracto y P por el método colorimétrico desarrollando color azul de molibdeno; su lectura se hizo por espectrofotómetro. La % de N por el método de Micro Kjendahl, (Bateman (1970).

Resultados

Fertilidad del suelo

El análisis de varianza detectó efectos significativos ($P < 0.0001$) de la época sobre la humedad gravimétrica, pH, acidez, nitratos y para el fósforo ($P < 0.05$), los cuales fueron mayores en la época lluviosa, excepto para la acidez del suelo que fue mayor en la época seca. No se detectaron nitratos durante la época seca, pero los niveles en la época lluviosa fueron de 0.494 mg/l. Los niveles de Ca, Mg, K, N y amonio fueron mayores en la época lluviosa pero las diferencias no fueron significativas ($P > 0.05$). El Mn tendió a ser mayor en la época seca (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fertilidad de un suelo ácido del Trópico Húmedo en las diferentes épocas.

Variables	Epoca		
	Epoca Seca	Epoca Lluviosa	DMS
Humedad (%)	17.7 (2.10)	27.4 (1.65)	0.874*
pH (agua)	4.8 (0.085)	5.0 (0.088)	0.092*
Acidez (cmol(+)/l)	2.70 (0.213)	2.40 (0.266)	0.152*
Ca (cmol(+)/l)	0.65 (0.155)	0.82 (0.246)	0.205
Mg (cmol(+)/l)	0.31 (0.314)	0.37 (0.373)	0.071
K (cmol(+)/l)	0.056 (0.009)	0.059 (0.019)	0.017

P (mg/l)	1.86 (0.910)	2.70 (1.219)	0.841**
Mn (mg/l)	51.35 (12.34)	49.30 (17.36)	19.37
N (%)	0.155 (0.039)	0.161 (0.038)	0.013
Amonio (mg/l)	4.96 (0.642)	5.57 (2.084)	0.741
Nitrato (mg/l)	0 (0.00)	0.49 (0.331)	0.173*

**Difieren significativamente (P< 0.0001).

* Difieren significativamente (P< 0.05).

Valores entre parentesis corresponden a la desviación estándar.

DMS: Diferencia mínima significativa

El contenido de humedad del suelo fue mayor para SSP que en BMC, siendo la diferencia más marcada en la época seca (19.5 vs 15.8%), comparada con la época lluviosa (28.6 vs 26.2).

Las concentraciones de P, N, amonio y nitratos del suelo bajo el SSP, fueron mayores que en BMC, siendo en promedio la diferencia de 98, 38, 53 y 177%, respectivamente (figura 1). Se detectaron interacciones significativas entre sistema y época para los contenidos de amonio y nitratos (P< 0.0015 y P< 0.0147 respectivamente). Los niveles de Ca y K fueron mayores en SSP, pero las diferencias no fueron significativas (Ca 0.76 vs 0.70; K 0.062 vs 0.053). La concentración de Mn no cambia entre sistemas, aunque tendió a ser mayor en el SSP (52.6 vs 48.1). No se encontraron diferencias significativas para el pH y la acidez en el SSP y BMC.

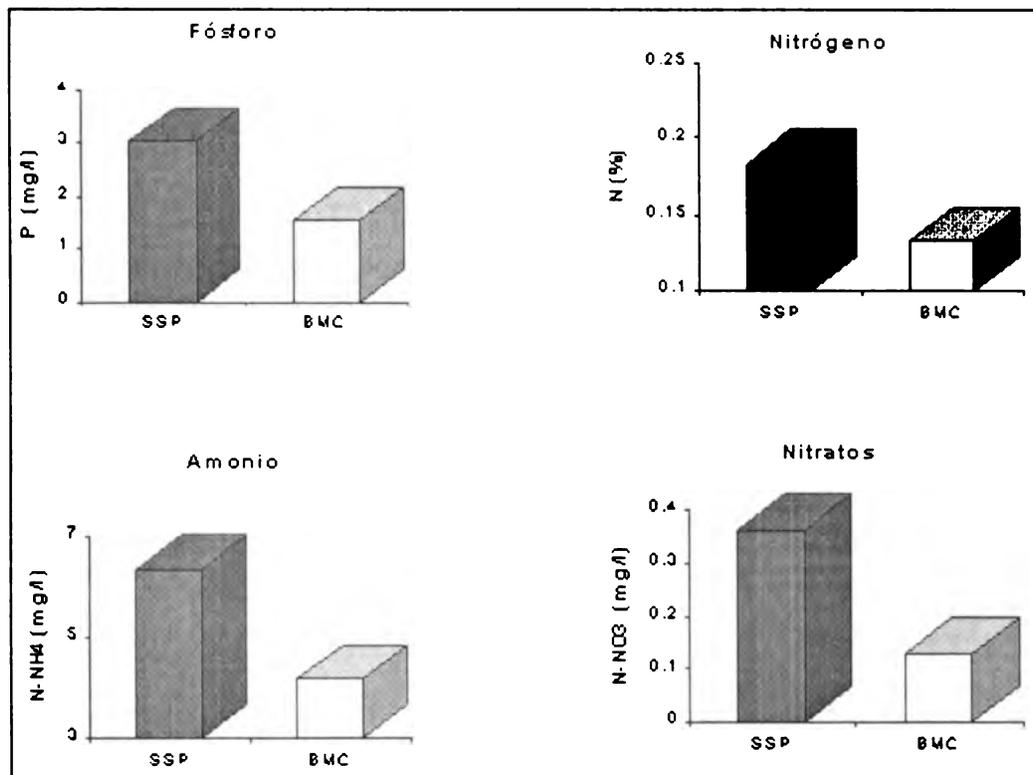


Figura 1. Concentraciones de P, N, amonio y nitratos en un suelo bajo un Sistema Silvopastoril con *Brachiaria* SSP y *Melinis minutiflora* con corte y quema (BMC).

En cuanto al análisis a diferentes distancias, solamente se encontró diferencia significativa para amonio ($P < 0.04$), cuyos valores fueron superiores a 1m y 2.5 m con relación a 4m. (Cuadro 2). Los niveles de Ca, P, Mg, K y Mn fueron mayores cerca del árbol (1m), pero las diferencias no fueron significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de variables de fertilidad del suelo, a diferentes distancias de la hilera de árboles de *B. mangrove*.

Variables	Distancia			DMS
	1 m	2.5m	4m	
Humedad (%)	24.1 a (4.86)	23.8 a (4.13)	23.7 a (4.31)	0.947
pH (agua)	4.9 a (0.16)	4.9 a (0.14)	4.8 a (0.12)	0.087
Acidez (cmol(+)/l)	2.62 a (0.30)	2.58 a (0.31)	2.77 a (0.20)	0.323
Ca (cmol(+)/l)	0.76 a (0.20)	0.74 a (0.44)	0.62 a (0.23)	0.358
Mg (cmol(+)/l)	0.33 a (0.08)	0.27 a (0.08)	0.26 a (0.06)	0.109
K (cmol(+)/l)	0.062 a (0.02)	0.055 a (0.01)	0.050 a (0.01)	0.015
P (mg/l)	3.03 a (0.86)	2.95 a (0.88)	2.48 a (0.69)	1.097
Mn (mg/l)	52.57 a (19.54)	45.03 a (15.79)	45.96 a (10.69)	17.36
N (%)	0.183 a (0.04)	0.185 a (0.04)	0.190 a (0.04)	0.068
Amonio (mg/l)	6.36 a (1.22)	5.40 a (1.78)	4.91 b (0.88)	1.365
Nitrato (mg/l)	0.36 a (0.39)	0.49 a (0.88)	0.12 a (0.15)	0.529

Valores con la misma letra en una línea no difieren significativamente ($P < 0.04$).

Valores entre parentesis corresponden a la desviación estándar.

DMS: Diferencia mínima significativa.

Contenido de nutrientes foliares

En la figura 2. se observan los datos obtenidos para los niveles de N, Ca, Mg, P y Mn de *B. humidicola*, en los diferentes sistemas y épocas. Para los sistemas SSP y BMC, se encontró diferencia significativa para % de Ca ($P < 0.0101$), siendo mayor en el segundo sistema y para el N ($P < 0.0001$), que fue muy superior en el SSP. Con respecto a las épocas se detectaron diferencias altamente significativas para los porcentajes de N ($P < 0.01$), Ca, K, P y Mn ($P < 0.0001$), siendo los contenidos mayores en la época lluviosa, excepto para el Mn, el cual se encontró en mayores niveles en la época seca.

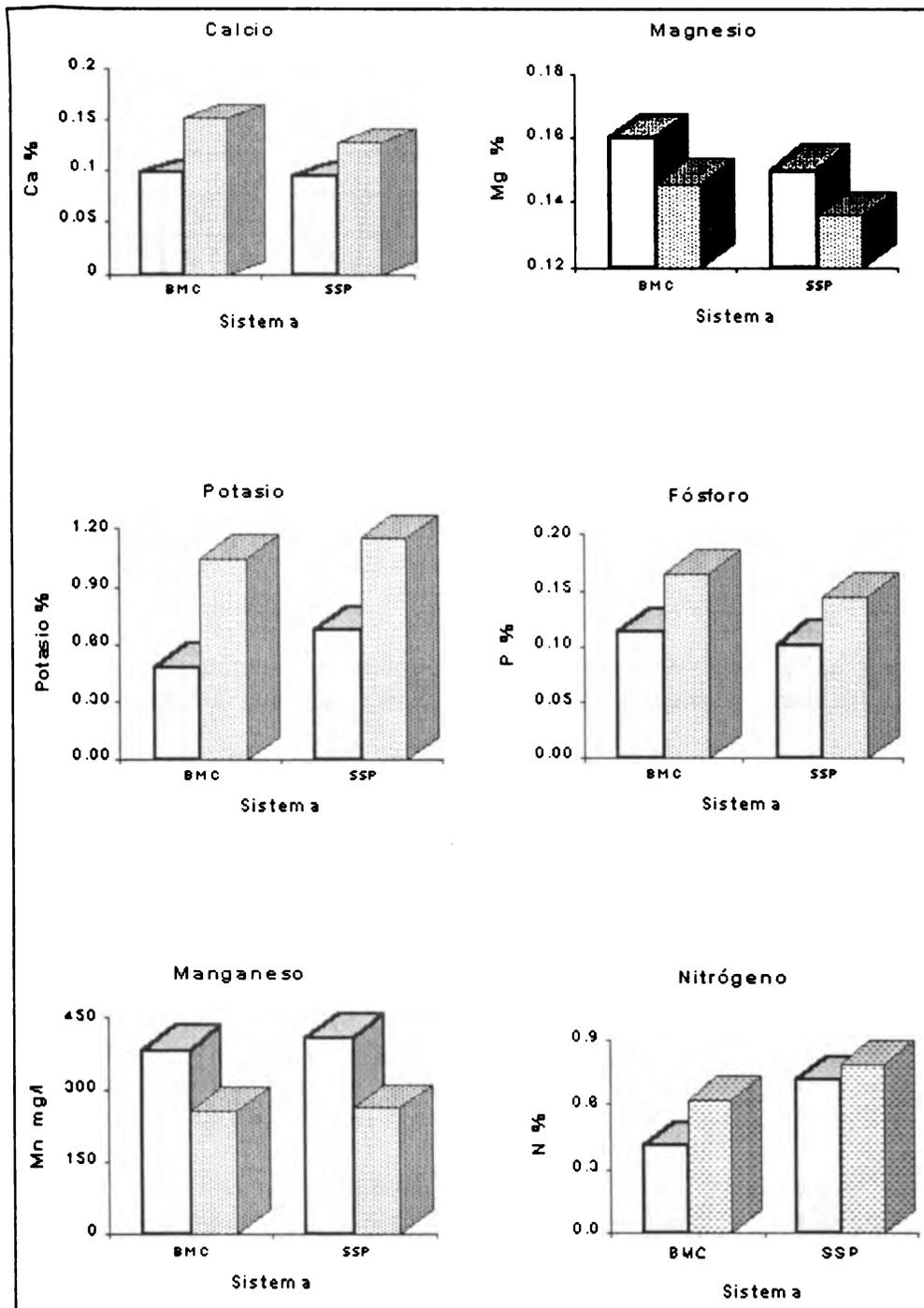


Figura 2. Efecto de la época sobre la concentración de minerales de *B. humidicola*, creciendo a pleno sol (BMC) y en un Sistema Silvopastoril con *A. mangium* (SSP).

Al evaluar la composición mineral del pasto en las tres diferentes distancias del árbol (1, 2.5 y 4 m), solo se encontró diferencia significativa para el contenido de Mn ($P < 0.0147$), este fue mayor a los 4 m (Cuadro 3). Las hojas de acacia presentaron una concentración de 0.56, 0.27 y 0.60% para Ca, Mg y K, respectivamente.

Cuadro 3. Contenido de minerales de *B. humidicola* en un sistema silvopastoril con *A. mangium* en muestras tomadas a diferentes distancias del árbol.

Variables	Distancia			DMS
	1m	2.5m	4m	
N (%)	0.76 a (0.1)	0.75 a (0.14)	0.72 a (0.11)	0.071
Ca (%)	0.11 a (0.02)	0.11 a (0.02)	0.11 a (0.02)	0.016
Mg (%)	0.14 a (0.02)	0.14 a (0.02)	0.14 a (0.02)	0.016
K (%)	0.92 a (0.29)	0.76 a (0.25)	0.74 a (0.29)	0.209
P (%)	0.12 a (0.03)	0.13 a (0.04)	0.13 a (0.04)	0.043
Mn (mg/l)	334 a (81.8)	367 b (110)	382 b (115)	37.11

Valores con la misma letra en una línea no difieren significativamente ($P < 0.0147$).

Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

DMS: Diferencia Mínima Significativa.

Las temperaturas máximas registradas en las parcelas experimentales fueron de 31.2 y 36.2°C, mientras que las temperaturas mínimas fueron de 28 y 25°C bajo la copa de los árboles y a pleno sol respectivamente.

Discusión

Fertilidad del suelo

El suelo se caracterizó por ser de baja fertilidad, con bajas concentraciones de Ca, Mg, K y P, (CICE con valores entre 0.954 y 1.270 cmol(+)/l), y alta acidez intercambiable (saturación de aluminio de 66 a 72%) (Bertsch, 1995). Estos datos concuerdan con los reportados por Name (1996), quien encontró un contenido muy bajo de bases y P (trazas de Ca y Mg, 0.05 cmol(+)/l de K y 1 mg/l de P) en asociaciones de *B. humidicola* con *A. mangium*, en la misma estación experimental.

Los resultados de este estudio no muestran efectos significativos de la acacia en el mejoramiento de las bases del suelo, aunque las concentraciones de Ca y K tendieron a ser mayores bajo acacia comparados con las de *B. humidicola* sola. La ausencia de diferencias significativas puede estar relacionada con la variabilidad de estos nutrientes en el suelo (coeficientes de variación de 27 y 28% para el Ca y K, respectivamente). La ausencia de diferencia significativa entre los dos sistemas evaluados para Ca, Mg, K están en concordancia con los reportados por Name (1996). Fisher (1995) no encontró diferencia para el contenido de K y para el pH en suelos bajo una plantación de *A. mangium*, en tres años de ocupación del sitio pero sí en el contenido de Ca.

Los bajos contenidos de bases en las hojas de acacia (0.56, 0.27 y 0.6% para Ca, Mg y K, respectivamente) y los bajos valores reportados para la hojarasca (Ca 0.88, Mg 0.27, K 0.06) (Velasco, 1998) pueden indicar un bajo reciclaje de estos nutrientes. Braga *et al.* (1995) en Brasil reportan valores similares para la parte aérea (0.53, 0.11 y 0.84% para Ca, Mg y K). Estos valores son comparables con los reportados para *Vochysia ferruginea* (0.52, 0.14, 0.32% para Ca, Mg y K, respectivamente), los cuales son típicos de especies de bosque húmedo tropical en suelos infértiles (Herrera y Finegan, 1997).

Por otro lado, el efecto que tiene los árboles sobre la fertilidad del suelo depende en parte de la textura de este, siendo mayor en suelos arenosos, que en los de textura fina (Campbell *et al.*, 1994). El suelo donde se realizó el estudio es un FArA, con un 32% de arcilla, pudiendo este en gran parte determinar la respuesta encontrada.

Por el alto porcentaje de lignina y de taninos de la hojarasca del género acacia (5.2 a 7.3 % de ácido tánico en *A. aneura*) (Goodehild and Mc Meniman, 1986; Bruce *et al.*, 1986), se espera tenga una lenta descomposición de la materia orgánica. En estudios con animales fistulados se ha reportado una descomposición del 25% para hojas verdes de acacia después de 48 horas, siendo esto un buen indicio de su baja tasa de descomposición y por lo tanto, de una lenta la liberación de nutrientes en el sistema (Xuan *et al.*, 1992). La caída de hojarasca ocurrió principalmente en los meses de junio y julio y el último muestreo de suelos se realizó a finales del mes de julio, por lo tanto la hojarasca estaba en la fase inicial de descomposición.

El mayor contenido de humedad encontrada en el SSP con acacia está de acuerdo con los resultados obtenidos en otros estudios (Belsky, 1992; Name, 1996) en los cuales se reportan un mayor contenido de humedad bajo la copa de los árboles. Esto es importante especialmente en la época seca ya que puede favorecer la disolución de minerales en el suelo y consecuentemente su absorción por el pasto. En ambientes semiáridos y tropicales subhúmedos el bajo contenido de humedad de los suelos puede restringir fuertemente la tasa de descomposición de la materia orgánica y la mineralización del N (Godwin y Jones, 1991). Estos mayores niveles de humedad favorecen la actividad de los microorganismos.

No se detectó diferencia significativa para el pH en los diferentes sistemas, concordando con lo encontrado por (Campbell *et al.*, 1994). La época afectó el pH, el cual fue mayor en la época lluviosa, pero el contenido de bases no fue superior en esta época, probablemente debido a que el efecto se dio en el mayor contenido de estos nutrimentos a nivel foliar; pues los niveles son tan bajos en el suelo que no alcanzan a acumularse en este. Además en esta época el pasto crece de una manera más acelerada, siendo mucho más exigente en nutrientes. En sitios donde ocurren lluvias de alta intensidad como lo es en este caso, puede ocurrir lixiviación de los minerales, especialmente del K y en menor proporción de Mg y Ca (Palm y Sánchez, 1990; Fassbender, 1993). También se encontró efecto de la época sobre la acidez intercambiable, la cual fue mayor en la época seca.

La mayor cantidad de P y N observadas en el sistema silvopastoril pueden explicarse por el reciclaje que se da en el sistema vía hojarasca y raíces. En las mismas parcelas experimentales, Velasco, (1998) reportó una producción anual de hojarasca de 7.5 Ton/ha con una concentración de 1.34% de N y 0.045% de P, equivalente de un retorno de 100 y 3.38 kg/ha/año de N y P, respectivamente. El efecto que tuvo la acacia sobre la concentración de N en el suelo puede además explicarse por las relaciones simbióticas que presenta esta especie con las bacterias *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* responsables de la fijación biológica de N (Sánchez, 1994; Galiana, *et al.*, 1998). Fisher (1995) reporta aumentos significativos (desde 3 a 3.3 g/kg) después de tres años de establecida la acacia.

Los mayores valores de nitratos pueden ser explicados por el efecto benéfico que tienen los árboles disminuyendo la compactación del suelo (Name, 1996; Fisher, 1995), ya que la aireación es una condición primordial para que ocurra la nitrificación. Siendo también muy importante el contenido de humedad (Paul y Clark, 1996), que fue mayor en los SSP. La nitrificación en estos suelos es baja, debido al bajo pH, ya que la tasa nitrificación decrece a pH inferiores a 6 (Paul y Clark, 1996).

La sombra estimula la liberación de N, como consecuencia de una mayor mineralización con relación a la inmovilización de N en el suelo (Wilson *et al.*, 1986; Wilson, 1996). Wilson (1996) encontró un efecto positivo de la sombra artificial sobre los contenidos de nitratos y amonio en dos tipos diferentes

de suelos (arcilloso fértil y arenoso infértil).

En las parcelas experimentales se ha observado un mayor contenido de MO del suelo bajo SSP (4.6%) comparado con el de *B. humidicola* sola (3.4%) (Ibrahim, sin pub), lo que contribuye a explicar los mayores contenidos de N en SSP. Name (1996) reporta contenidos de 4.3% en suelos bajo plantaciones de acacia y del 2.7 % bajo vegetación natural. Bustamante (1991) encontró resultados similares en asociaciones de diferentes pastos con *E. poeppigiana*, en comparación con las pasturas solas.

Se presentaron interacciones significativas entre época y tipo de sistema para los contenidos de nitratos y amonio. En la BMC se presentaron similares contenidos en las dos épocas, mientras que en el SS aumentaron significativamente los niveles de nitratos y amonio con las lluvias. Al aumentar el contenido de agua en el suelo, se favoreció la nitrificación, siendo mayor en el SSP con acacia, debido a un mayor contenido de materia orgánica y N total. Esto coincide con la observación hecha por Wilson (1996) quien afirma, que la respuesta a la sombra por las gramíneas es mayor en periodos de alta precipitación ya que las plantas al estar con menos estrés por agua, aprovechan mejor la mayor disponibilidad de N que hay bajo ambientes sombreados.

Se encontró una disminución del 13% en la temperatura bajo la copa de los árboles, a pesar de que ésta solo se midió en la época lluviosa (mes de julio). Dicha diferencia se espera sea mayor en la época seca cuando se registran mayores temperaturas y un menor contenido de agua. Wilson y Wild (1995) sugieren que temperaturas mayores a 35 °C interfiere en la actividad óptima de los microorganismos de suelo en zonas templadas, aunque dicho efecto no es tan claro en suelos tropicales. La nitrificación e baja cuando la temperatura supera los 40 °C, siendo óptima en un rango de temperatura entre 30 y 35 ° ((Paul y Clark, 1996).

Los mayores niveles de P en suelos bajo acacia concuerdan con los resultados encontrados por Velasco (1998), quien reporta mayores contenidos de P disponible en el SSP con acacia, en comparación con la *B. humidicola* sola (4 vs 3 mg/l). Estos resultados pueden ser explicados por la asociación simbiótica que tiene esta especie con el hongo *Thelephora ramarioides*, el cual mejora la absorción de micro y macronutrientes, especialmente del fósforo (Liang, 1986). Velasco (1998) encontró una mayor población de micorrizas (3224 vs 2357 esporas/100 g de suelo) en un SSP con 240 árboles de acacia /ha comparada con un SSP con 120, aunque dichas diferencias no fueron significativas.

El aumento de la materia orgánica en los suelos bajo acacia puede indirectamente afectar la disponibilidad del fósforo por el bloqueo de sitios de retención de P del suelo (Palm, 1995).

El Mn fue mayor en acacia sin ser significativa la diferencia, presentando un nivel alto de este elemento, coincidiendo también con los altos contenidos encontrados en las hojas de acacia (471 y 705 mg/l en hojas inmaduras y maduras respectivamente). Vercoe (1986), reporta altos contenidos de este elemento en otras especies de acacia como *A. melanoxylon* (457 ppm), *A. aneura* (863 ppm), *A. leptocarpa* (622 ppm) y *A. concurrens* 917.

Para las diferentes distancias del árbol se encontró un mayor contenido de amonio a 1 y 2.5 m del árbol debido posiblemente a una mayor cantidad del N fijado por los nódulos. Los demás nutrientes posiblemente estén distribuidos de forma homogénea en la pradera, debido a la alta densidad de árboles, alta producción de hojarasca y por el sistema de pastoreo utilizado (rotacional), el cual fue bastante homogéneo.

Contenido de nutrientes foliares

En ambos sistemas el pasto se caracterizó por tener bajas concentraciones de N y esto puede limitar el consumo de esta especie (Salinas y Perdomo, 1988). Los valores encontrados en este trabajo están de acuerdo con los reportados por Lascano y Thomas (1988); Santana, *et al.*, (1993); Salinas y Perdomo (1988).

El nivel de N foliar fue 45% mayor en el SSP comparado con la *B. humidicola* sola. Bustamante (1991) reporta un aumento del 24% de este elemento cuando se asoció con *E. poeppigiana*. Lascano y Thomas (1988) encontraron niveles del 1.33% de N en época de lluvias en asocio con *Arachis pintoi*, el cual contrasta con los bajos niveles encontrados en la gramínea como monocultivo (0.48 a 0.64%). Este aumento podría ser explicado por la estimulación de la sombra sobre la absorción de N en suelos con niveles bajos o moderados de N (Wong y Wilson, 1980). Aunque no se detectaron diferencias significativas para N a diferentes distancias del árbol, este tendió a disminuir a medida que se alejaba del mismo. Belsky (1992) encontró mayores niveles de N en los pastos creciendo bajo la copa de los árboles en comparación con los que crecían fuera de ésta.

El porcentaje de N en las hojas puede ser un buen indicador de los cambios de N en el suelo. En la época seca se encontró una alta correlación ($r=0.74$) entre el %N en el suelo y en el pasto. En la época lluviosa se obtuvo un valor más bajo ($r=0.60$), debido posiblemente a que en esta época hay mayores niveles de NO_3^- en el suelo y pueden ocurrir pérdidas por lixiviación, aunque los niveles encontrados son tan bajos, que se espera halla poca lixiviación.

Los contenidos de K, Mg y P encontrados en el pasto están dentro del rango normal reportado para esta especie (Filho, 1992; Nárvaez y Lascano, 1989; Botrel, *et al.*, 1990), Los niveles de Ca tienden a ser bajos, lo cual está asociado a los niveles bajos de este mineral en el suelo experimental.

Los resultados obtenidos en este estudio no muestran efectos significativos de la acacia sobre los contenidos de K, Mg y P en la humidicola, aunque el K tendió a ser mayor en el SSP. Se detectaron mayores niveles de Ca en el sistema BMC, lo cual no coincide con los resultados reportados en diferentes investigaciones, que se han detectado mayores niveles de P, K y Ca en las gramíneas que se encuentran bajo la copa de los árboles (Belsky, 1992; Carvalho *et al.*, 1994; Carvalho *et al.*, 1995). Sin embargo estos valores son predecibles por los bajos contenidos de bases en el suelo y la baja descomposición de la hojarasca de acacia.

Los mayores niveles de N, Ca, K y P en la época lluviosa puede relacionarse con el incremento del consumo de nutrientes que ocurre en suelos con alto contenido de humedad. Esto coincide con los datos reportados por Filho *et al.* (1992) quienes determinaron un aumento significativo (de N, P y K) en la época más lluviosa.

Conclusiones

1. El contenido de minerales en el pasto fue mayor en la época lluviosa, excepto el Mn, que fue mayor en la época seca. Igualmente los contenidos de humedad, P y N-NO_3 y pH del suelo, fueron mayores en la época de mayor precipitación, la acidez lo fue en la época seca.
2. La acacia no tuvo efecto en el contenido de Ca, Mg, K y Mn en el suelo ni en el pasto; los contenidos de Ca, K y Mn en el suelo tendieron a ser mayores en el SSP.
3. *Acacia mangium* aumentó los contenidos de N y P en el suelo, resultado importante, ya que el crecimiento de las pasturas tropicales frecuentemente se ve limitado por la deficiencia de estos elementos. Los mayores niveles de N en el suelo se reflejaron en las mayores concentraciones de

este elemento en el pasto

4. Los SSP mantienen un mayor contenido de humedad en el suelo. Este efecto toma mayor importancia en la época seca, donde el contenido de humedad es tan crítico que limita la producción de la pastura.

Literatura citada

- Bateman J (1970) Nutrición animal: manual de métodos analíticos. Ed. Herrero, México, D. F. 468 p
- Belsky A.J.(1992) Effects of trees on nutritional quality of understory gramineus forage in tropical savannas. *Tropical Grasslands* 26: 12-20
- Belsky A J, Canham C D (1994) Forest gaps and isolated savanna trees. *Bioscience* 44: 77-84
- Bernal H, Finegan B (1997) Substrate conditions, foliar nutrients and the distributions of two canopy tree species in a Costa Rican secondary rain forest. *Plant and Soil* 191: 259-267
- Bertsch F (1995) La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo San José, Costa Rica, 159 p
- Botrel M A, Alvim M J, Martins C E (1990) Aplicao de nitrogenio em acessos de *Brachiaria*. 2. Efeito sobre os teores de proteína bruta e minerais. *Pasturas Tropicales* 12(2):7-10
- Braga F de A, Vale F R, Ventorim N, Aubert E, Lopes G de Andrade (1995) Exigencias Nutricionais de quatro Especies Florestais. *Revista Arvore, Vicosa* 19 (1): 18-31
- Bronstein G E (1984) Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 110 p
- Bruce R, Conn E E, Dunn J .E (1986) Cyanogenic Australian Species of *Acacia* A Preliminary Account of Their Toxicity Potential. In: Australian Acacias in Developing Countries: proceedings of an international workshop held at the Forestry Training Centre. Editor John W. Turnbull, Australia, ACIAR Proceedings N: 16. P107-111
- Bustamante J (1991) Evaluación de comportamiento de ocho gramineas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 131 p
- Campbell B .M, Frost P, King J .A, Mwanza M, Mhlanga L (1994) The influence of trees on soil fertility on two contrasting semi-arid soil types at Matopos, Zimbabwe. *Agroforestry Systems* 28: 159-172
- Carvalho M M, Freitas V, Almeida D S, Villaca H (1994) Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral da forragem em pastagens de braquiaria. *Sociedade Brasileira de Zootecnia* 23 (5): 709-719
- Carvalho M M, Freitas V P, Andrade A C (1995) Cescimento inicial de cinco gramineas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). *Pasturas Tropicales* 17 (1): 24-30
- Daccarett M, Blyndestein J (1968) La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos sobre el follaje que crece bajo ellos. *Turrialba* 18(4): 405-408
- Díaz-Romeu, Hunter A (1978) Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 65 p

- Fassbender H W (1993) Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2a ed. Turrialba, C. R. CATIE 530 p (Serie Materiales de Enseñanza No. 29)
- Filho A P, Dutra S, Serrao E A S (1992) Productividade estacional e composicao química de *Brachiaria humidicola* e pastagem nativa de Campo Cerrado do Estado do Amapá, Brasil. *Pasturas Tropicales* 14(1): 11-16
- Fisher R F (1995) Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. *Soil Science Society America Journal* 46(5): 970-976
- Galiana A, Gnahoua G.M, Chaumont J, Lesueur D, Prin Y, Mallet B (1998) Improvement of nitrogen fixation in *Acacia mangium* through inoculation with rhizobium. *Agroforestry Systems* 40: 297-307 p
- Glover n, Beer J W (1987) Nitrogen cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 4: 77-87
- Godwin D C, Jones C A (1991) Nitrogen dynamics in soil-plant systems. In *Modeling Plant and soil Systems*. Eds J. Hanks; J. T. Ritchie. American Society of Agronomy Madison. Madison, WI. p 287-321
- Gonzalez F (1997) Efecto de *Acacia mangium* Will como barbecho mejorado, sobre la disponibilidad de fósforo en cultivos posteriores en un ultisol ácido. Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, CATIE, 86 p
- Ibrahim M A (1994) Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixtures for sustainable animal production in the Atlantic Zone of Costa Rica. Thesis Ph. D. Wageningen Agricultural University. Wageningen, Holanda, 129 p
- Kass B T, Grime H, Lawson T (1985) The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In: H.A. Steppeler, P.K. Nair (eds.). *Agroforestry: a Decade of Development*. International Center for Research on Agroforestry. Nairobi p. 227-243
- Kuehl R O (1994) Repeated Measures Designs. In *Statistical Principles of Research Design and Analysis*. 2 ed. California, U.S.A., Duxbury Press. 499-528 p
- Lascano C, Thomas D (1988) Forage quality and animal selection of *Arachis pintoi* in association with tropical grasses in the eastern plains of Colombia. *Grass and Forage Science (G.B.)*. 43: 433-439
- Liang S.B (1986) Research on *Acacia mangium* in Sabah: a Review. In *Australian Acacias in Developing Countries: proceedings of an international workshop held at the Forestry Training Centre*. Editor John W. Turnbull. Australia. ACIAR Proceedings Nº 16. P 95-100
- Machado R, Nuñez C A (1991) Comportamiento de variedades de *Brachiaria sp.* Bajo pastoreo en condiciones de secano y fertilización media. *Pastos y Forrajes (Cuba)* 14: 123-132
- Mazzarino M, Szott L, Jimenez M (1993) Dynamics of soil total C and microbial biomass, and water soluble C in tropical agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry (GB.)* 25: 205-214
- Methods of soil analysis (1982) *Agronomy*. N^o 9 Parte 2 Ed. Wisconsin. USA p 643-661
- Name B (1996) Dinámica del suelo en plantaciones de *Acacia mangium* asociadas al pasto humidicola. IDIAP, Panamá. Sin publicar.
- Narvaez N, Lascano C (1989) Digestibilidad in vitro de especies forrajeras tropicales. I. Comparación de métodos de determinación. *Pasturas Tropicales* 11(1): 13-18
- Palm C A (1995) Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* 30: 105-124

- Palm C A, Sanchez P A (1990). Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* 22(4): 330-338
- Paul E A, Clark F E (1996) *Soil Microbiology and Biochemistry*. 2 ed. San Diego, U.S.A. 340 p
- Perez E (1990) Evaluación del ensayo clonal de *Erythrina* spp. en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. M.Sc.Tesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 111 p
- Salinas J G, Perdomo C E (1985) Producción y calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* con fertilización y uso de escardillos en Carimagua, Colombia. In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (9., 1985, Cali, Col.). Trabajos. Cali, Col. 14 p
- Sanchez P.A, Isbell R F (1979) Comparación entre los suelos de los Trópicos de América Latina y Australia. *In: Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. L.E. Tergas y P.A. Sánchez (eds). CIAT, Serie 0365-5 29-58 p
- Sanghez, Salinas J (1982) Suelos ácidos, estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Bogotá, Colombia SCCS. 93 p
- Santana J. R, Pereira J M, Morero M A, Spain J .M (1993). Persistencia e qualidade proteica da consorciacao *Brachiaria humidicola- Desmodium ovalifolium* cv. Itabela sob diferentes sistemas e intensidades de pastejo. *Pasturas Tropicales* 15 (2): 2-8
- Sas institute inc (1985) *SAS user's guide: Statistics*. Cary, EE.UU. SAS Institute Inc. 629 p
- Serrao E A (1991) Sustainability of pastures replacing forests in the Latin American humid tropics: The Brazilian Experience. *In: DESFIL Humid tropical lowlands conference*. (1991, Panama City, Pan.). [Conferencia]. P. irr
- Steel R D G, Torrie J C (1988) *Bioestadística: principios y procedimientos*. 2ª ed. Trad. Por Ricardo Martínez. México, McGraw-Hill. 622 p
- Tergas L E (1981) El potencial de *Brachiaria humidicola* para suelos ácidos e infértiles en América Tropical. *Pastos Tropicales Bol. Inf. CIAT*. 4 2 p
- Wilson J R (1996) Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. *Australian Journal Agriculture Research* 47: 1075-1093
- Wong C C, Wilson J R (1980) Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green Panic an Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frecuencies. *Australian Journal of Agricultural Research*. 31 269 285
- Wilson J R, Catchpole V R, Weier K L (1986) Stimulation of growht an nitrogen uptake by shading a rundown Green Panic pasture on Brigalow clay soil. *Tropical Grasslands* 20: 134-143
- Wilson J (1996) Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. *Australian Journal Agriculture Research* 47: 1075-1093
- Velasco A (1998) Productividad forrajera, aporte de fósforo foliar y actividad biológica, en una pradera de *Brachoaria humidicola* sola y con *Acacia mangium*. Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, CATIE, 98 p
- Vercoe T K (1986) Fodder Potential of Selected Australian Tree Species. *In Australian Acacias in Developing Countries: proceedings of an international workshop held at the Forestry Training Centre*. Editor John W. Turnbull. Australia. ACIAR Proceedings N. 16 95-100 p
- Xuan A B, Luu T .H, Duong K N, Preston T R (1992) Effect of positios in the tree and pretreatment of *Acacia*

