

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**CONTRIBUCION DE *Acacia mangium* AL MEJORAMIENTO DE LA  
CALIDAD FORRAJERA DE *Brachiaria humidicola* Y LA FERTILIDAD  
DE UN SUELO ACIDO DEL TROPICO HUMEDO**

**POR**

**DIANA MARIA BOLIVAR VERGARA**



Turrialba, Costa Rica  
1998

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE  
INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
CATIE

PROGRAMA DE ENSEÑANZA  
ÁREA DE POSTGRADO

**CATIE**

**CONTRIBUCIÓN DE *Acacia mangium* AL MEJORAMIENTO DE LA  
CALIDAD FORRAJERA DE *Brachiaria humidicola* Y LA  
FERTILIDAD DE UN SUELO ACIDO DEL TROPICO HUMEDO**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Postgrado y Capacitación del  
Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro  
Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

*Magister Scientiae*

por

DIANA MARIA BOLIVAR VERGARA

Turrialba, Costa Rica

1998

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección de la Escuela de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

*MAGISTER SCIENTIAE*

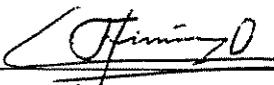
**FIRMANTES:**



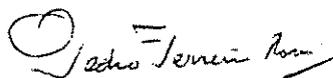
Muhammad Ibrahim  
Profesor Consejero



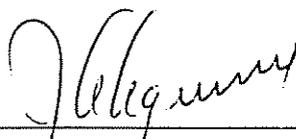
Donald Kass  
Miembro Comité Asesor



Francisco Jiménez  
Miembro Comité Asesor



Pedro Ferreira  
Miembro Comité Asesor



Juan A. Aguirre  
Director y Decano de la Escuela de Postgrado



Diana María Bolívar Vergara  
Candidato

## DEDICATORIA

A mis padres Jairo y Gladyz por su amor, entrega y por sus valiosas enseñanzas, fundamentales para mi formación.

A mis hermanos, que a pesar de nuestros desacuerdos nos seguimos queriendo y creciendo juntos.

A mi esposo Javier por su amor y por la confianza y seguridad que siempre me transmitió y a mi hija Laura por soportar lo poca dedicación en estos dos años de estudio y por ser tan inquieta y cariñosa llenando de alegría nuestro hogar.

A mi país de origen, Colombia.

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi eterna gratitud:

Al CATIE por haberme permitido ingresar al Programa de Maestría y facilitado el financiamiento para realizar mis estudios.

Al Dr. Muhammad Ibrahim, profesor consejero, por su positiva orientación en mi trabajo de tesis y por su amistad, confianza y apoyo durante estos dos años de estudio.

A los doctores Donald Kass, Francisco Jimenez y Pedro Ferreira, Miembros del comité Asesor, por el apoyo brindado y su valioso tiempo.

A todo el personal de la Estación Experimental Calabacito del IDIAP en Panamá, especialmente al Maestro Benjamín Name y a Enrique Márquez, trabajador de campo, por haberme permitido hacer el trabajo en sus instalaciones y por todo el apoyo brindado, sin el cual hubiese sido imposible realizar mi trabajo de tesis.

A Franklin López y Carlos Aguirre del Laboratorio de Fitoquímica del CATIE, por su amistad, confianza y colaboración en los análisis de laboratorio.

A Jonhhy Pérez y Gustavo López, por su valiosa cooperación en el análisis estadístico.

A todo el personal de la biblioteca ORTON

A mis compañeros de estudio, especialmente Oscar Flores y su familia, por su amistad y apoyo incondicional, importantes durante mi estadía en el CATIE.

A Viviana Vásquez, quien cuidó de mi hija con cariño y responsabilidad.

BOLIVAR VERGARA, D. M. 1998. Contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. 97 p

**Palabras claves:** sistema silvopastoril, nitrógeno, nitratos, amonio, minerales degradabilidad *in situ*, proteína cruda, pared celular, materia seca, DIVMS, FDN, FDA, lignina, biomasa muerta, relación hoja:tallo, radiación.

## RESUMEN

//El propósito del presente estudio fue el de evaluar la contribución de *Acacia mangium* en diferentes épocas sobre la fertilidad del suelo y sobre la composición mineral, valor nutritivo y producción de *B. humidicola*, además de la radiación fotosintéticamente activa incidente al estrato inferior. El experimento se realizó en la estación experimental Calabacito en Panamá, ubicada a 8° 15' de Latitud Norte y 81° 05' de Longitud Oeste y una altura de 100 msnm; con 27°C y 2500 mm de temperatura y precipitación media anual localizada en la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical. El estudio de degradabilidad fue desarrollado en las instalaciones del CATIE, C.R., ubicada a 9° 53' N, 83° 38' O, a una altura de 602 msnm; con 22°C y 2599 mm de temperatura y precipitación media anual respectivamente, localizado en una zona de vida de bosque húmedo premontano.

Para hacer las comparaciones entre el sistema silvopastoril con acacia (SSP) y la *B. humidicola* como monocultivo (BMC), se utilizaron parcelas de 18 m<sup>2</sup> escogidas al azar y para evaluar el efecto de *A. mangium* a diferentes distancias (1, 2.5 y 4m) parcelas de 72 m<sup>2</sup>, contando cada parcela con cuatro árboles. Las muestras en el SSP estuvieron compuestas por 16 submuestras tomadas a lo largo de la hilera de árboles y por 8 en las parcelas de BMC. Se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo de parcelas divididas con 5 repeticiones, excepto para producción de materia seca (MS) que se utilizó un diseño de parcelas sub-subdivididas con distancia anidada en sistema. La degradabilidad de la MS, pared (FDN) y proteína (PC), fue estudiada en dos novillos fistulados al rumen, utilizando la metodología desarrollada por Orskov y McDonald (1979). //

Las variables medidas en el suelo fueron los contenidos de Ca, Mg, K, P, Mn, N, amonio, nitratos y humedad, el pH, y la acidez intercambiable; en el pasto fueron contenido de minerales (Ca, Mg, K, P y Mn), fibra detergente neutro (FDN), fibra ácido detergente (FDA), hemicelulosa, celulosa, lignina, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), proteína (PC), solubilidad de la PC, PC ligada a FDN, la degradabilidad de la MS, FDN y PC, relación hoja:tallo y biomasa muerta.

Con respecto a las variables evaluadas en el suelo, no se encontraron diferencias entre sistemas para las concentraciones de Ca, Mg, K, Mn, ni para el pH y la acidez intercambiable, aunque el Ca, K y Mn tendieron a ser mayores en el SSP. La acacia aumentó significativamente los contenidos de humedad P, N, amonio y nitratos en 15, 98, 38, 53 y 177% respectivamente. En cuanto las distancias se encontró mayor contenido de amonio a 1 m del árbol. La humedad, pH, P y nitratos fueron superiores en la época lluviosa, la acidez lo fue en la época seca.

La *B. humidicola* presentó mayores niveles de Ca, K y P en la época lluviosa y mayor Mn en la época seca. No hubo diferencia entre sistemas, excepto para el Ca que fue mayor en BMC. El contenido de Mn fue mayor a 1m del árbol.

La acacia mejoró el valor nutritivo del pasto en términos de mayor contenido de PC (4.7 vs 3.2%), mayor proporción de proteína soluble (58 vs 52%) y menor PC ligada a la pared (4.6 vs 5.3%). Esto repercutió en una mayor degradabilidad potencial de la PC la cual fue del 67% comparada con 55% en la BMC. La degradabilidad de la MS y pared no variaron mucho entre sistemas, siendo solo mayor la degradabilidad inicial de la MS en el SSP. Al analizar las diferentes distancias se encontró una mayor DIVMS a 1 m del árbol. El pasto presentó mayores valores de PC, DIVMS, solubilidad de la PC y degradabilidad de la PC, MS y FDN y menor PC ligada a la pared en la época lluviosa.

La cantidad de RAFA incidente sobre la *B. humidicola* en el SSP, fue inferior en un 35% comparada a la que se presentó en la BMC, encontrándose diferencias entre distancias, siendo mayor a medida que se aleja del árbol. Sin embargo, este factor no fue limitante para

la producción de la pastura en esta zona de estudio, confirmándose esto con la mayor producción de MS obtenida en el SSP (2562 vs 1834 kg/ha), debido al mayor contenido de humedad, N y P en este sistema. Además bajo el SSP el pasto presentó menor cantidad de biomasa muerta. La *B. humidicola* presentó mayor relación hoja:tallo y menor porcentaje de biomasa muerta en la época lluviosa. //

Bolivar D.M. 1998. Contribution of *Acacia mangium* in improving soil fertility and the nutritive value of *Brachiaria humidicola* pastures grown on acid soils in the humid tropics. Turrialba, Costa Rica. MSc thesis, CATIE. 97 p

**Key words:** Silvopastoral systems, nitrogen, nitrates, ammonia, minerals, in situ degradation, crude protein, *in vitro* dry matter digestibility, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, lignin, dead material, leaf stem ratio, radiation

## SUMMARY

This study was conducted to determine the effect of incorporating the tree legume *Acacia mangium* in *Brachiara humidicola* pastures, on soil improvement and on the nutritive value of the pasture. The experiment was conducted on the experimental station of Calabacito (8° 15' N 81° 05' W; 100 m elevation), Panama. The area is classified as a humid tropical forest with mean annual rainfall of 2500 mm and temperature of 27 °C.

The treatments consisted of 1) *Brachiaria humidicola* monoculture (BMC) and 2) *B. humidicola* in mixture with *Acacia mangium* (SSP); the data were analysed for a split plot design where the systems were the main plots and seasons the sub-plots with five replications. In the SSP, spatial variability of soil nutrients and forage quality was measured by taking samples at 1, 2.5 and 4 m from the trunk of the trees (*Acacia mangium*). Spatial variability of nutrients were measured by considering distances as main plots and seasons as sub-plots. The sample plots (18 m<sup>2</sup>) were randomly selected in paddocks which had an area of 2000 m<sup>2</sup>.

The pastures were established in June 1991. The Acacia trees were sown at distance of 8 x 3 m. Grazing was initiated in 1993 with a resting period of 24 days and grazing period of 3 days. The plots were managed with a flexible stocking rate of 2 AU/ha during the rainy and 1.0 AU/ha in the dry season. This experiment was conducted between August 1997 and October 1998.

Soil samples were collected at a depth of 15 cm in the dry (February 98) and wet (August 98) seasons to determine fertility, ammonia and nitrates. Foliar samples of *Brachiaria humidicola* were collected in both seasons for analysis of crude protein (CP), protein solubility, *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and lignin.

A separate experiment was conducted at the CATIE experimental station, Turrialba, Costa Rica to determine degradation of DM, cell wall and protein of *Brachiaria humidicola* samples collected in the different treatments, using the *in sacco* technique described by Orskov and McDonald (1979). Two rumen fistulas each weighing 600 kg LW were used for this study. The samples were incubated for 0, 4, 8, 16, 32, 48 and 72 hours. A non-linear regression analysis was performed to describe relationships in the degradation studies.

There were little differences in the concentration of Ca, Mg, K Mn, pH and exchange acidity of soil between systems though Ca, K, and Mn tended to be higher with *Acacia mangium*. On the other hand, soil humidity, P, N, ammonia and nitrates were significantly higher with the Acacia mixture compared to the *Brachiaria* mono-culture with differences of 15, 98, 38, 53 and 177% respectively. The results showed that NH<sub>3</sub>-N concentrations were higher for samples taken close tree trunks (1 m). Soil pH, P and nitrates were significantly higher in the wet compared to the dry season.

Forage samples of *Brachiara humidicola* had higher concentrations of Ca, K and P in the wet season and greater concentration fo Mn in the dry season; Ca was higher in the grass mono-culture. The concentration of Mn was greater under the tree canopy compared to open grassland.

The concentration of CP and soluble protein and were significantly higher in the mixture with *Acacia mangium* compared to the grass mono-culture (CP 4.7 vs 3.2%; Soluble protein 58 vs 52%); CP-FDN was lower in the SSP (4.6 vs 5.3%). This was reflected in greater degradation potential of CP, which was 67% and 55% for SSP vs BMC respectively. The

degradation of DM and cell walls of *B. humidicola* foliage did not show differences between the systems. IVDMD of *Brachiaria humidicola* was greater for samples collected 1m from the tree trunk. The concentration of CP, IVDM, protein solubility and degradation of DM, cell wall and protein NDF were higher in the rainy season. The CP-FDN was higher in the dry season.

The amount of PAR incident above the canopy of *B. humidicola* in the SSP was 35% lower compared to the amount observed with the grass mono-culture; PAR increased with samples taken from the tree trunk to the open grassland. However, DM yields of *B. humidicola* was higher in mixture with *Acacia mangium* compared to the grass mono-culture (2562 vs 1834 kg/ha/cycle), and this was correlated with higher soil humidity, N and P in the SSP. Besides Leaf stem ratio of the grass was higher in rainy season.

It is concluded that *Acacia mangium* contributed to improving soil N and P and quality and productivity of the *B. humidicola* pasture.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
SUMMARY .....	VII
INDICE GENERAL.....	XII
INDICE DE CUADROS .....	XIII
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
<b>CONTRIBUCION DE <i>ACACIA MANGIUM</i> AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD FORRAJERA DE <i>BRACHIARIA HUMIDICOLA</i> Y LA FERTILIDAD DE UN SUELO ACIDO DEL TROPICO HUMEDO .....</b>	<b>1</b>
1. INTRODUCCION GENERAL.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. GENERAL.....	2
2.2. ESPECIFICOS.....	3
3. HIPOTESIS.....	3
4. REVISION DE LITERATURA.....	3
4.1. SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	3
4.1.1. <i>DEFINICION</i> .....	3
4.1.2. <i>INTERACCIONES EN LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES</i> .....	4
4.2. EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO SOBRE EL SUELO.....	5
4.3. EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO SOBRE LA PRODUCCION DE LAS GRAMINEAS.....	6
4.4. EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO SOBRE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE LAS PASTURAS.....	9
4.5. EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO SOBRE LA CALIDAD DE LAS PASTURAS.....	10
4.6. ECONOMIA DEL NITROGENO EN PASTURAS BAJO SOMBRA.....	13
4.7. DESCRIPCION DE LAS ESPECIES.....	14
4.7.1. <i>Acacia mangium</i> .....	14
4.7.1.1. ORIGEN Y CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS.....	14
4.7.1.2. LA ACACIA EN SISTEMAS AGROFORESTALES.....	15
4.7.1.3. FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO.....	16
4.7.2. <i>Brachiaria humidicola</i> .....	17
5. LITERATURA CITADA.....	19
ARTICULO 1.....	26
<b>CARACTERISTICAS QUIMICAS DE UN SUELO ACIDO Y COMPOSICION MINERAL DE <i>BRACHIARIA HUMIDICOLA</i> BAJO UN SISTEMA SILVOPASTORIL CON <i>ACACIA MANGIUM</i> .....</b>	<b>26</b>
2.1. INTRODUCCION.....	26
2.2. MATERIALES Y METODOS.....	28
2.2.1. <i>DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO</i> .....	28
2.2.2. <i>DESCRIPCION DE LOS EXPERIMENTOS</i> .....	28
2.3. RESULTADOS.....	31

2.3.1. Fertilidad del suelo .....	31
2.3.2. Contenido de nutrientes foliares .....	34
2.4. DISCUSION .....	36
2.4.1. Fertilidad del suelo .....	36
2.4.2. Contenido de nutrientes foliares .....	41
2.5. CONCLUSIONES .....	42
2.6 LITERATURA CITADA .....	43
ARTICULO 2 .....	48
<b>SOLUBILIDAD DE LA PROTEINA Y DEGRADABILIDAD RUMINAL DE <i>BRACHIARIA HUMIDICOLA</i> EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL CON <i>ACACIA MANGIUM</i> EN EL TROPICO HUMEDO .....</b>	
3.1. INTRODUCCION .....	48
3.2 MATERIALES Y METODOS .....	49
3.2.1. Localización .....	49
3.2.2. Animales y Alimentación .....	50
3.2.3. Incubación del pasto en el rumen .....	50
3.2.4. Análisis químicos .....	51
3.2.5. Estimación de los parámetros de degradación ruminal .....	51
3.2.6. Tratamientos y Diseño Experimental .....	53
3.3 RESULTADOS .....	54
3.3.1. Caracterización nutritiva de <i>Brachiaria humidicola</i> .....	54
3.3.2. Degradabilidad ruminal de la MS .....	57
3.2.3. Degradabilidad ruminal de la pared .....	59
3.2.4. Degradabilidad ruminal de la PC .....	60
3.2.5. Correlaciones .....	62
3.3. DISCUSION .....	65
3.4. CONCLUSIONES .....	68
3.5. LITERATURA CITADA .....	69
ARTICULO 3 .....	73
<b>PRODUCCION DE <i>BRACHLARIA HUMIDICOLA</i> BAJO UN SISTEMA SILVOPASTORIL CON <i>ACACIA MANGIUM</i> EN EL TROPICO HUMEDO .....</b>	
4.1. INTRODUCCIÓN .....	73
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	75
4.2.1. Localización .....	75
4.2.2. Diseño Experimental .....	75
4.2.3. Variables de respuesta .....	77
4.2.3.1. Producción de materia seca .....	77
4.2.3.2. Relación Hoja:tallo y porcentaje de biomasa muerta .....	77
4.2.3.3. Radiación fotosintéticamente activa (RAFA) .....	78
4.3. RESULTADOS .....	78
4.3.1. Relación Hoja:Tallo y Biomasa Muerta .....	78
4.3.2 Radiación fotosinteticamente activa, humedad en el suelo y producción de materia seca de <i>B humidicola</i> .....	79
4.4. DISCUSION .....	82
4.5. CONCLUSIONES .....	84
4.6. LITERATURA CITADA .....	84
CONCLUSIONES GENERALES .....	87
RECOMENDACIONES .....	88
ANEXOS .....	89

## INDICE DE CUADROS

No	TITULO	PAGINA
1	Comparación de variables de fertilidad del suelo por época.	32
2	Comparación de variables de fertilidad del suelo, a diferentes distancias de la hilera de árboles de <i>A. mangium</i>	34
3	Contenido de minerales de <i>B. humidicola</i> en un sistema silvopastoril con <i>A. mangium</i> en muestras tomadas a diferentes distancias del árbol.	36
4	Caracterización nutricional de <i>B. humidicola</i> en las diferentes épocas.	54
5	Caracterización nutricional de <i>Brachiaria humidicola</i> en las diferentes distancias de la hilera de árboles de <i>A. mangium</i> .	57
6	Parámetros de degradabilidad ruminal <i>in situ</i> de la MS de <i>Brachiaria humidicola</i> bajo un sistema silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP) y como monocultivo (BMC) en las diferentes épocas.	59
7	Parámetros de degradabilidad ruminal <i>in situ</i> de la pared de <i>Brachiaria humidicola</i> en un sistema silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP) y como monocultivo (BMC) en las diferentes épocas	60
8	Parámetros de degradabilidad ruminal <i>in situ</i> de la PC de <i>Brachiaria humidicola</i> en un sistema silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP) y como monocultivo (BMC) en las diferentes épocas.	62
9	Coefficientes de correlación entre composición nutricional de la <i>B. humidicola</i> y los parámetros de degradabilidad de la MS, PC y FDN.	64
10	RAFA, contenido de humedad en el suelo y producción de MS de <i>B. humidicola</i> bajo un sistema silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP) y bajo <i>B. humidicola</i> como monocultivo (BMC) en los	80

	diferentes ciclos de crecimiento.	
11	RAFA, contenido de humedad en el suelo y producción de MS de <i>B. humidicola</i> en las diferentes distancias de la hilera de árboles de <i>A. mangium</i> .	81
12	Balance de RAFA en un sistema silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP) y en <i>B. humidicola</i> como monocultivo (BMC).	81
13	Fuentes de variación y grados de libertad asociados al diseño de parcelas divididas para la comparación de sistemas (SSP y BMC) en las diferentes épocas.	89
14	Análisis de Variancia de parcelas divididas para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas.	89
15	Análisis de Variancia de parcelas sub-subdivididas para la producción de materia seca de <i>Brachiaria humidicola</i> para la comparación entre sistemas (SSP y BMC), distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) y entre las cuatro fechas.	90
16	Valores de F para la composición mineral de <i>B. humidicola</i> de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).	90
17	Valores de F para la composición mineral de <i>B. humidicola</i> para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas.	91
18	Valores de F para las variables de fertilidad del suelo de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).	91
19	Valores de F para las variables de fertilidad del suelo para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas.	92
20	Valores de F para las características nutricionales de <i>B. humidicola</i> de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).	93

21	Valores de F para las características nutricionales de <i>B. humidicola</i> para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas.	94
22	Valores de F para los parámetros de degradabilidad ruminal de la MS de <i>B. humidicola</i> de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).	94
23	Valores de F para los parámetros de degradabilidad ruminal de la PC de <i>B. humidicola</i> de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).	95
24	Valores de F para los parámetros de degradabilidad ruminal de la Pared de <i>B. humidicola</i> de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).	95
25	Valores de F para la relación H:T y MM de <i>B. humidicola</i> de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).	95
26	Valores de F para la relación H:T y MM de <i>B. humidicola</i> para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas.	96
27	Valores de F para la Radiación fotosintéticamente activa y el contenido de humedad del suelo para la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre las cuatro fechas de mediciones.	96
28	Valores de F para la Radiación fotosintéticamente activa y el contenido de humedad del suelo para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en cuatro fechas.	96
29	Valores de F para la producción de materia seca de <i>Brachiaria humidicola</i> para la comparación entre sistemas (SSP y BMC), distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) y entre las cuatro fechas.	97

## INDICE DE FIGURAS

No	TITULO	PAGINA
1	Concentraciones de P, N, amonio y nitratos en un suelo bajo un Sistema Silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP) y bajo <i>B. humidicola</i> como monocultivo (BMC).	32
2	Concentraciones de P, N, amonio y nitratos en un suelo bajo un Sistema Silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP) y bajo <i>B. humidicola</i> como monocultivo (BMC).	33
3	Efecto de la época sobre la concentración de minerales de <i>B. humidicola</i> , creciendo a pleno sol (BCM) y en un Sistema Silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP).	35
4	Contenidos de FDA, hemicelulosa y celulosa en <i>B. humidicola</i> bajo un SSP con <i>A. mangium</i> y como monocultivo en las diferentes épocas.	55
5	Contenidos de FDN, hemicelulosa, PC, PC ligada a la pared y solubilidad de la PC de <i>B. humidicola</i> como monocultivo (BMC) y bajo un sistema silvopastoril con <i>A. mangium</i> (SSP).	56
6	Degradabilidad ruminal de la MS de follaje de <i>Brachiaria humidicola</i> creciendo en un sistema silvopastoril (SSP) y en monocultivo (BMC) durante dos épocas	58
7	Degradabilidad ruminal de la pared de follaje de <i>Brachiaria humidicola</i> creciendo en un sistema silvopastoril con <i>Acacia mangium</i> (SS) y en monocultivo (BMC) durante dos épocas.	61
8	Degradabilidad ruminal de la PC de follaje de <i>Brachiaria humidicola</i> creciendo en un sistema silvopastoril con <i>Acacia mangium</i> (SSP) y en monocultivo (BMC) durante dos épocas.	63

- 9 Relación hoja:tallo y porcentaje de biomasa muerta de *Brachiaria humidicola* creciendo a pleno sol (BMC) y en asocio con *Acacia mangium* (SSP) durante la época seca y la lluviosa. 79
- 10 Precipitación, RAFA, contenido de humedad en el suelo y producción de MS de *B. humidicola* bajo un sistema silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y bajo *B. humidicola* como monocultivo (BMC) en los diferentes ciclos. 80
- 11 Radiación fotosintéticamente activa incidente sobre la pastura a diferentes distancias de la hilera de árboles. 81

# CONTRIBUCION DE *Acacia Mangium* AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD FORRAJERA DE *Brachiaria humidicola* Y LA FERTILIDAD DE UN SUELO ACIDO DEL TROPICO HUMEDO

## 1. INTRODUCCION GENERAL

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, 1988; Ramírez y Seré, 1989; Serrao y Toledo 1989; INPE, 1990; Serrao, 1991). Esta situación está relacionada, principalmente, con la pérdida de fertilidad del suelo, las condiciones de manejo inadecuado y la selección de especies no adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas existentes.

En la búsqueda de sistemas de producción sostenible, los sistemas agroforestales parecen ser ventajosos a corto y largo plazo, especialmente por el aporte de materia orgánica y ciclaje de nutrientes a través del componente arbóreo. Uno de los sistemas agroforestales más utilizados es el silvopastoril, implementado con el fin de mantener la producción de leche y carne y al mismo tiempo disminuir el impacto sobre los recursos naturales y el ambiente. Además los árboles pueden ser fuente de forraje de buena calidad, proveer sombra a los animales en sistemas de pastoreo y obtener productos adicionales (leña, frutas, madera), dándole mayor estabilidad económica al productor.

Las interacciones entre los componentes de los sistemas silvopastoriles (SSP) pueden ser positivas o negativas. La magnitud de estas interacciones dependen, principalmente, de las especies utilizadas (gramíneas y árboles), de la densidad del componente arbóreo, del arreglo espacial y del manejo aplicado (Giraldo y Vélez, 1993). Los árboles en SSP, modifican el balance energético, hídrico y de nutrientes del sistema, y esto se refleja en la producción y composición botánica de la pastura y en la producción animal. La sombra de los árboles en la pastura influye en la producción de la biomasa, en la calidad del forraje, en el consumo de agua por la pastura y en la distribución proporcional de los productos de

fotosíntesis entre la raíz y la parte aérea; estos efectos dependen a su vez del estado de las variables edáficas.

En países como Panamá, Colombia y Costa Rica se está evaluando la *Acacia mangium*, como opción para la recuperación de suelos degradados, debido a que esta especie es una leguminosa bien adaptada a suelos degradados, compactados, ácidos y a su importante aporte de hojarasca (Udarbe y Hepburn, 1987). Además de ser una especie fijadora de nitrógeno, manifiesta una alta capacidad de absorción de fósforo, ya que se ha identificado una asociación con el hongo *Thelephora ramarioides*.

En los sitios donde se reporta la introducción de acacia, no se dan a conocer datos sobre usos en sistemas silvoagropecuarios. Sin embargo, por las características que presenta esta especie, tiene potencial para su asociación con cultivos perennes o anuales. Uno de los posibles usos es en un sistema silvopastoril con *Brachiaria humidicola*, debido a que es una especie bien adaptada a suelos pobres, condición bajo la cual manifiesta una adecuada velocidad de rebrote, mantiene una buena composición botánica y proporciona una aceptable producción animal (Machado y Nuñez, 1991). Además se ha encontrado un buen comportamiento de esta gramínea bajo sombra (Bustamante, 1991).

Fassbender (1993) menciona que los estudios regionales o nacionales de los sistemas silvopastoriles son escasos y se encuentran en su fase de instrumentación, siendo necesario un conocimiento más profundo de los componentes biofísicos y sus interacciones en estos sistemas, con el fin de aprender a manejarlos y diseñarlos ventajosamente.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. GENERAL

Determinar el efecto de la *Acacia mangium* sobre la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* establecida en un suelo ácido, en una zona tropical húmeda.

## 2.2. ESPECIFICOS

- Determinar el efecto de la *A. mangium* sobre la concentración de minerales en el suelo y su incidencia en la calidad de la pastura, comparada con la obtenida a pleno sol.
- Estimar el efecto de la *A. mangium* sobre la digestibilidad *in vitro* de materia seca, solubilidad y degradabilidad ruminal de la proteína, materia seca y pared celular.
- Medir la variabilidad en la calidad forrajera de *B. humidicola* en un sistema silvopastoril en diferentes épocas.

## 3. HIPOTESIS

- La presencia de *A. mangium* en potreros modifica la transmisión de luz y el microambiente, el cual afecta la composición química de las gramíneas y su valor nutritivo.
- La acacia produce un cambio en las diferentes fracciones de N en la biomasa de las gramíneas.
- La calidad forrajera de *B. humidicola* varía según la época, siendo diferente el efecto cuando se encuentra asociada con acacia, comparada con la establecida a pleno sol.

## 4. REVISION DE LITERATURA

### 4.1. SISTEMAS SILVOPASTORILES

#### 4.1.1. DEFINICION

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de las leñosas perennes (árboles o arbustos), interactuando con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) y todos ellos están bajo un sistema de manejo integral, tendiente a incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema en el largo plazo (Somarriba, 1992). Para que se den interacciones, no necesariamente todos

los componentes deben compartir el mismo espacio. En estos sistemas, debido a los cambios realizados por el hombre, se observan diferencias en el comportamiento normal de la materia orgánica y en el ciclaje de nutrientes, tanto a nivel dinámico como estático (Fassbender, 1993).

Los árboles como componentes de los sistemas silvopastoriles, interceptan parte de la radiación solar, de la precipitación, del CO<sub>2</sub> y del O<sub>2</sub> que ingresa al sistema. La captura de estos ingresos es superior si el aprovechamiento del espacio vertical es mayor.

#### 4.1.2. INTERACCIONES EN LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES

Las interacciones entre los componentes de los sistemas silvopastoriles pueden ser positivas o negativas. La magnitud de estas interacciones dependerá, principalmente de las especies seleccionadas, de la densidad del componente arbóreo, del arreglo espacial y del manejo aplicado (Giraldo y Vélez, 1993).

Los árboles modifican el balance energético, hídrico y de nutrientes del sistema, y esto se refleja en su producción total y en el rendimiento de las pasturas y de los animales. La sombra de los árboles en la pastura, debido a la atenuación de la radiación solar influye en la producción de la biomasa, en la calidad del forraje, en el consumo de agua de la pastura, y en la distribución raíz/follaje de los productos de fotosíntesis; estos efectos dependen a su vez del estado de las variables edáficas (Giraldo y Vélez, 1993).

Los animales también hacen parte importante de las interacciones que se dan en los sistemas silvopastoriles, especialmente cuando estos están bajo pastoreo. El retorno de materia orgánica y elementos nutritivos de los animales depende de su distribución y movilidad en la pastizal y de la composición química de las excreciones (heces y orina) (Fassbender, 1993). Una proporción significativa de los nutrientes que los animales absorben son devueltos al sistema, Pezo *et al.* (1992), señalan que en vacas lecheras,

alrededor de un 75% de los elementos minerales consumidos son retornados vía excretas, y hasta un 90% en animales en crecimiento.

## 4.2. EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO SOBRE EL SUELO

Los árboles fijadores de N (AFN) incrementan el nivel de este elemento en el suelo, debido a su capacidad de fijarlo de la atmósfera y por medio del aporte de materia orgánica. Además, sus raíces pueden absorber nutrientes de capas profundas del suelo y bombearlos a la superficie, haciéndolos disponibles para la pastura. En algunos casos pueden incrementar la disponibilidad de P, Ca, K y Mg (Bronstein, 1983; Torres, 1983; Montagnini, 1992; Russo y Botero, 1996;). Al respecto, Bustamante (1991), reporta mayores contenidos de materia orgánica y N en el suelo donde fueron establecidos diferentes pastos asociadas con *Erythrina poeppigiana* en comparación a los monocultivos, características que se relacionan con el ciclaje de nutrientes cuando está presente el poró. Los valores de pH y los niveles de K, fueron mayores en los monocultivos.

Name (1996) estudió el efecto de la *A. mangium* asociada con *B. humidicola* sobre un ultisol ácido en Panamá, encontrando un mayor contenido de materia orgánica en el suelo. No se encontraron diferencias en los niveles de P, K, Ca y Mg.

En un estudio sobre el efecto de la rotación arroz-*Vigna-humidicola*; guandú-*Mucuna-humidicola* y *Vigna-humidicola-humidicola* (Sánchez, 1994), sobre el diámetro y altura de la *A. mangium* y la dinámica de nutrientes en el suelo a través del tiempo, encontró que el pH, P, K, Mg y la materia orgánica aumentaron su concentración en el suelo a medida que transcurrieron los años 1990 a 1994, mientras que la acidez intercambiable disminuyó significativamente en este período. El pH fue mayor en el lugar de muestreo cercano al árbol, que en el centro de la parcela donde se cultiva el pasto *B. humidicola*, mientras que la acidez intercambiable fue menor en el sitio cercano al árbol que en la parcela donde se cultiva la *B. humidicola* sola.

Los AFN pueden mejorar las condiciones físicas del suelo (porosidad y densidad aparente). Su efecto por descompactación es positivo y relevante en áreas degradadas por compactación del suelo, por la mecanización y/o pisoteo continuo del ganado (Bronstein, 1983; Torres, 1983; Montagnini, 1992; Russo y Botero, 1996). Name (1996) en solo dos años de asociación de la *A. mangium*, encontró una reducción de la densidad aparente del 10%, al compararse con el suelo con vegetación natural (*Curatela americana* y *Andropogon bicornis*). Al cuarto año, con el pastoreo hubo un incremento de la densidad aparente debida a la compactación ocasionada por el ganado; sin embargo, fue inferior a la ocurrida en la parcela bajo vegetación natural. También se encontró un incremento del 59% en la lámina de infiltración acumulada luego de tres horas y un aumento en la velocidad de infiltración media. Esto tiene un impacto en el aprovechamiento de la lluvia efectiva, rendimiento hídrico de la cuenca y en la reducción de la escorrentía que se traduce en una reducción de la erosión laminar. Observaciones en la época seca, permitieron observar el pasto asociado con acacia permaneció verde y tierno por un período más prolongado.

#### **4.3. EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO SOBRE LA PRODUCCION DE LAS GRAMINEAS**

La magnitud del sombreado depende de la densidad de árboles, del arreglo espacial, de la altura que estos alcancen así como de la arquitectura y fenología que caracterice la especie del árbol. La densidad de árboles que hacen parte del sistema silvopastoril puede modificar la producción de biomasa de la pastura, debido a competencia intra e interespecífica por recursos (agua, luz, nutrientes), siendo muy importante la intensidad lumínica que penetra a través del dosel de los árboles.

La mayoría de pastos tropicales son plantas  $C_4$  por lo tanto, con una capacidad limitada para aclimatarse o tolerar sombra (Ludlow, *et al.*, 1980), de manera que reducen su rendimiento cuando se someten a bajas intensidades de radiación solar. Su éxito en los pastizales va a depender de su capacidad de crecer a mayor altura (como es el caso de las gramíneas) o de apoyarse y enrollarse sobre sus competidores, como es el caso de algunas leguminosas como *Macroptilium atropurpureum* (Ludlow, *et al.*, 1974).

Las mayoría de las pasturas tropicales del tipo C<sub>4</sub>, alcanzan su máxima producción con altos niveles de intensidad lumínica. La influencia de los árboles sobre su producción, de las pasturas, considerando solamente la intersección de la radiación solar, se espera que resulte en una reducción de la misma, en comparación con potreros abiertos. Se deben seleccionar especies forrajeras que se desarrollen mejor bajo el dosel arbóreo, dado que las gramíneas han sido seleccionadas por atributos medidos en ausencia de sombra (Giraldo y Vélez, 1993). Al respecto se han realizado diferentes trabajos, encontrado resultados muy diversos, dependiendo de las especies de pastos y árboles que son utilizados.

En asociaciones de 1667 árboles/ha de poró (*Erythrina poeppigiana*) con King-grass (*Pennisetum purpureum*\**Pennisetum typhoides*), se aumentó la producción de pasto de 13 a 20 toneladas de MS por ha. Esta producción aumentó linealmente hasta las 30 toneladas cuando el 33, 66 y 100% del follaje de los árboles podados se depositó entre los surcos del pasto (Libreros, *et al.* 1993).

Igualmente, Bustamante (1991) en la mayoría de los pastos estudiados encontró una mayor producción de MS cuando estos estaban asociados con poró. El mayor efecto positivo del poró se observó sobre las gramíneas *Panicum maximum* CIAT 16061 y *B. brizantha* CIAT 6780 las cuales tuvieron un incremento del 30 y 27% respectivamente, con respecto a la producción de éstas cuando no estaban asociadas con árboles, la *B. humidicola* tuvo un aumento del 17%. Las gramíneas *Pennisetum purpureum* y *Brachiaria dictyoneura* CIAT 6233, disminuyeron la producción en un 11% cuando se asociaron con poró.

En un estudio, realizado en suelos de baja fertilidad de Brasil, se encontró que la presencia de árboles en la pastura tuvo poco efecto sobre la disponibilidad de forraje; siendo diferente el comportamiento de las gramíneas estudiadas. Con *B. decumbens* hubo aumento en la cantidad de hojas verdes y en la producción de hojarasca bajo la copa de los árboles, pero la cantidad de hojas verdes, de material muerto y la disponibilidad de forraje no fue significativamente afectada. Por el contrario, con *B. brizantha* la disponibilidad total de MS fue mayor en el área expuesta al sol, mientras que las cantidades de hojas y tallos verdes

fueron semejantes. La diferencia en la disponibilidad de MS, a favor del área del sol, se debió a la mayor cantidad de material muerto en ese tratamiento (Mesquita, *et al.*, 1994).

Somarriba (1988), encontró disminuciones en la producción de biomasa de *Axonopus compressus* y *Paspalum conjugatum* del 37 al 51%, cuando el pasto crece bajo árboles de guayabo (*Psidium guajava*), en densidades de 280 árboles/ha. Igualmente, Estrada y Gómez (1994), encontraron disminuciones hasta del 44% del pasto gordura (*Melinis minutiflora beauv*), cuando este fue asociado con *Pynus patula*, en comparación con el potreo abierto.

Carvalho *et al.* (1995) estudiaron el crecimiento inicial de cinco gramíneas tropicales (*Panicum maximum* cv. Vencedor, *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Melinis minutiflora*, *B. decumbens* y *B. brizantha* cv. Marandú) bajo una plantación de *Anadenanthera macrocarpa* Benth., obteniendo que la reducción de luminosidad provocó una disminución en el crecimiento inicial de las gramíneas y una menor producción de MS a los cinco meses después de la siembra. La mayor reducción ocurrió en *A. gayanus* (87%), mientras que la menor fue en la *B. brizantha* (51%).

El efecto de sombreamiento por los árboles también depende de la época. Giraldo *et al.* (1995) realizaron evaluaciones en sistemas silvopastoriles naturales, bajo pastoreo, durante varios años, en una zona de bosque seco tropical en Colombia. El sistema estaba compuesto por pasturas de *P. maximum*, asociado con una gran diversidad de árboles, entre los cuales sobresalen guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carbonero (*Senegalia sp.*), orejero (*Enterolobium cycloarpum*) y cañahuate (*Tabebuia chrysea*). Hubo reducción en la disponibilidad de biomasa en la época seca del 59 y 47% para el sistema silvopastoril con árboles que cubren con la copa, un área de 3667 m<sup>2</sup> (densidad alta) y 2795 m<sup>2</sup> (densidad media), respectivamente. En la época lluviosa las diferentes densidades arbóreas no tuvieron efecto significativo sobre la producción de forraje. En términos generales la intensidad lumínica que penetró el dosel arbóreo fue mayor en la época seca, no hubo diferencias en la época de lluvias.

El efecto de sombra artificial puede ser diferente al ocasionado por las especies arbóreas. Pérez, *et al.* (1993), estudiaron el patrón de crecimiento de *B. brizantha* y de *B. dictyoneura* en monocultivo, asociadas con soya (*Glycine max*) y bajo mallas simulando la sombra de soya, encontrando una respuesta variable de las gramíneas al tipo de sombra. *B. dictyoneura* resultó muy afectada por la sombra producida por la soya; *B. brizantha*, en cambio, lo fue por la sombra simulada, indicando que esta gramínea tolera la sombra y que, en condiciones de estrés por falta de luz, puede utilizar en forma eficiente la mayor parte de los nutrientes y el agua del suelo. La *B. dictyoneura*, debido a su lento crecimiento inicial, no se asoció en forma eficiente con la soya y presentó una disminución de 87% en el rendimiento de materia seca.

#### 4.4. EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO SOBRE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE LAS PASTURAS

Resultados obtenidos en diferentes estudios muestran que las plantas herbáceas modifican su hábito de crecimiento bajo condiciones de sombra. Al respecto, Bustamante (1991), encontró que en la mayoría de los pastos estudiados la relación hoja:tallo fue más estrecha, bajo sombra de poró en comparación con la obtenida en el tratamiento sin árboles; siendo mayor para el *Panicum maximum* (variedades CIAT 16051 y CIAT 16061) y la *Brachiaria humidicola* de las de porte estolonífero; mientras que la de la *B. dictyoneura* fue muy baja debido a la persistencia en emitir tallos florales. La relación hoja:tallo más baja la presentó *Cynodon nlemfuensis* para los tratamientos con y sin árboles. Igualmente Wilson y Wong (1982), reportaron una menor relación hoja:tallo en el *Panicum maximum* con el sombreado. Por el contrario Wilson, *et al.*, (1990), encontró mayor proporción de hojas en el *Paspalum notatum* bajo sombra de *Eucaliptus grandis*.

En el mismo aspecto, Zelada (1996), estudió el efecto de diferentes niveles de luz utilizando mallas de sarán y encontró un aumento en la relación hoja:tallo en *Axonopus compressus*, *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha*, hasta un nivel de 50% de luz. Cuando el nivel de luz se redujo al 25%, esta relación descendió bruscamente. El *Arachis pintoii* mantuvo una alta relación hoja: tallo en todos los niveles de luz.

#### 4.5. EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO SOBRE LA CALIDAD DE LAS PASTURAS

La intensidad de radiación solar que recibe una pastura modifica la composición química del forraje (Eriksen y Whitney, 1981); altas intensidades se relacionan con incrementos en los carbohidratos solubles y disminución de la proteína cruda. Con intensidades crecientes de radiación, dentro de ciertos límites, la tasa fotosintética aumenta y con ello los carbohidratos solubles. La reducción de los nitratos celulares requiere de alta energía, y cuando la planta se halla sombreada o en la oscuridad, esta energía es tomada a partir de los carbohidratos solubles que son rápidamente metabolizados y en consecuencia disminuyen (Cantliffe, 1972). La intensidad de radiación también se relaciona con los carbohidratos estructurales; su aumento conduce a una menor elongación de los tallos lo cual implica menor contenido de tejidos estructurales; sin embargo, si la mayor intensidad de luz es acompañada por aumentos de temperatura, podría ocurrir que los carbohidratos estructurales se incrementan a causa de la mayor tasa transpiratoria, (Eriksen y Whitney, 1981; Bustamante, 1991; Belsky, 1993) y a la tendencia de emitir tallos florales más temprano (Bustamante, 1991).

Ludlow *et al.*, (1980) mencionaron que en ausencia de otros estreses ambientales, tanto las leguminosas como las gramíneas parecen ser igualmente sensibles a la sombra. Sin embargo, Wong y Wilson (1980) indican que a niveles bajos o moderados de nitrógeno, algunas gramíneas parecen ser menos susceptibles que las leguminosas; aparentemente la sombra estimula la absorción de nitrógeno y el crecimiento de las gramíneas; mientras que en las leguminosas el crecimiento se reduce, debido a que la sombra deprime la fijación de nitrógeno por los rizobios.

La sombra de los árboles, al atenuar la intensidad de radiación solar y la temperatura foliar de las plantas, modifica el contenido de proteína cruda de los pastizales tropicales, siendo el efecto más marcado, cuando el componente arbóreo es una leguminosa Daccarett y Blyndestein (1986) encontraron que la estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) asociada con *E. poeppigiana* (44% de luz) tuvo un 8,4% de proteína, mientras que ese mismo pasto a

pleno sol tenía una concentración de 6%. Resultados similares fueron encontrados por Bronstein (1984).

Éstrada y Gómez (1994) encontraron un aumento del 49% en el contenido de proteína cruda, en el pasto gordura cuando este fue asociado con *Pynus patula*, a una densidad de 1600 árboles/ha.

No todas las especies responden de manera semejante al efecto de la sombra. Bustamante (1991) estudió el efecto del asocio de *E. poeppigiana* sobre el comportamiento de ocho gramíneas tropicales, encontrando un aumento en el porcentaje de PC en todas las especies, desde un 11,5 % en el *Pennisetum purpureum*, hasta un 32 % en *B. brizantha* CIAT 664.

El sombreado producido por los árboles no solo afecta el contenido de N, sino la concentración de otros minerales. Belsky (1993) realizó un estudio en Kenia en sitios con baja y alta precipitación, para comparar los efectos de los árboles de sabana aislados (*Acacia tortilis* y *Adansonia digitata*) sobre el comportamiento de gramíneas forrajeras (predominantemente especies perennes C4), creciendo en tres zonas: bajo la copa, en la zona de las raíces y en la pradera. Las dos especies de árboles tuvieron efectos similares sobre la calidad del forraje, pero el N de los tejidos fue mayor alrededor de los árboles de la leguminosa acacia. En ambos sitios las concentraciones de N, P, K, Ca, B y Cu en el forraje tuvieron una tendencia a incrementarse de la pradera abierta a la zona cubierta por los árboles, mientras que el Mn, Zn y Mo disminuyeron. Debido a que el rendimiento del forraje también se incrementó de la pradera a la zona de la copa de los árboles, el contenido total de nutrientes por unidad de área se incrementó al aproximarse a la base del árbol.

En diferentes estudios realizados en Brasil, se ha evaluado el comportamiento de algunas gramíneas tropicales bajo diferentes especies arbóreas no leguminosas, encontrándose que las plantas sombreadas presentaron mayor porcentaje de N, P y K en las hojas. También se encontraron mayores concentraciones de N en la hojarasca bajo la copa de los árboles (Carvalho *et al.*, 1994; Carvalho *et al.*, 1995). Resultados similares fueron encontrados por

Wilson *et al* (1990) quien evaluó el crecimiento de pasto *Paspalum notatum* bajo una plantación *Eucalyptus grandis*.

El sombreado también afecta la DIVMS, parámetro importante en términos de definir la calidad de la gramínea. Algunos autores reportan mayores valores cuando las gramíneas están asociados con árboles, aunque dichas diferencias no han sido significativas, mientras que entre gramíneas si. Las gramíneas asociadas con poró que mostraron los mayores porcentajes fueron *B. brizantha* CIAT 664 (58,5%), *B. dictyoneura* CIAT 6133 (58,2%), *B. humidicola* CIAT 6369 (58,2%) y *B. brizantha* CIAT 6780 (58,1%); para *Cynodon nlemfuensis* se han reportado los valores más bajos 45,1% sin árboles y de 46,9 a 51,2% bajo poró (Bronstein, 1984; Bustamante, 1991).

Por el contrario, Belsky (1993) evaluó el efecto de *Acacia tortilis* y *Adansonia digitata* sobre una diversidad de especies y encontró que las concentraciones de las fibras del forraje (FDN, FDA, celulosa y SiO<sub>2</sub>) disminuyeron a partir de la pradera abierta a la zona de la copa de los árboles. La lignina se incrementó, pero la digestibilidad de la materia seca (DMS) fue ligeramente menor en la zona de la copa. Resultados similares fueron encontrados por Wilson y Wong (1982) quienes reportan una disminución en la DMS, tanto en las hojas como en los tallos verdes, en *Panicum maximum*, mientras que la leguminosa *Macroptilium atropurpureum* no fue afectada.

Estrada y Gómez (1994) encontraron un mayor porcentaje de FDA en el pasto gordura (*Melinis minutiflora beauv*) asociado con *Pynus patula* (39.92 %), comparado con el encontrado a pleno sol (36.97%). Dichos autores no encontraron diferencias significativas en la degradabilidad ruminal de la MS, encontrando similitud en la degradabilidad inicial y potencial, tasa de degradación y tiempo medio de degradación, aunque fueron levemente superiores para el potrero abierto.

En una serie de trabajos para evaluar el efecto de la sombra sobre la calidad de las gramíneas, pero utilizando sombra artificial con mallas de sarán. Zelada (1996), encontró incrementos en la concentración de proteína cruda (de 11 a 17%) en las especies gramíneas

estudiadas (*B. brizantha*, *P. maximum* y *A. compressus*), cuando disminuyó la radiación y una reducción de 24 hasta 21% en el *Arachis pintoi*. En cuanto a la DIVMS, en todas las especies tendió a aumentar con mayores niveles de radiación, siendo *A. pintoi* la que reportó los valores más altos (69 y 70% bajo 25 y 50% de radiación respectivamente), seguido por *B. brizantha* y *P. maximum* con un promedio de 60% bajo los mismos niveles de luz. La menor DIVMS de las gramíneas se atribuye a un aumento en los componentes estructurales (celulosa y hemicelulosa), así como un mayor grado de lignificación cuando las plantas crecen bajo sombra.

Wilson y Wong (1982) reportan que la digestibilidad de la materia seca (DMS) de *P. maximum* disminuyó por el efecto del sombreo y que esta disminución es más marcada cuando la defoliación es menos frecuente. Esto fue atribuido a una reducción de la DMS en la lámina de la hoja y tallo y en la relación hoja/tallo. También fue asociada con más bajos contenidos de carbohidratos solubles y más altos de lignina en los tejidos sombreados. Por el contrario, en el Siratro la composición química y la DMS no fueron afectados por la sombra. Crowder (1982) informa que la sombra incrementó significativamente el contenido de lignina de la gramínea *Cynodon dactylon* cv. Coastal, lo cual se disminuyó su digestibilidad.

#### **4.6. ECONOMIA DEL NITROGENO EN PASTURAS BAJO SOMBRA**

Con el objetivo de verificar si la sombra estimula la liberación de nitrógeno a la solución del suelo en pasturas degradadas de *P. maximum*, Wilson *et al.*, (1986) compararon parcelas a plena luz y con 37% de transmisión de luz. Concluyeron que la sombra estimula el crecimiento extra, debido a un incremento en la liberación de nitrógeno y que este efecto beneficioso de la sombra estaría relacionado con una alteración en el balance de movilización/inmovilización del nitrógeno en el suelo.

La fuente de este N no parece venir de una actividad adicional de las raíces fijadoras de N, de una redistribución desde las raíces hacia las partes superiores de la planta, ni tampoco se encuentra relacionado con el incremento en la humedad del suelo cuando se da una

reducción de la radiación. Se cree que los niveles disponibles de N en el suelo se incrementan por el efecto positivo de la sombra en el índice de nitrificación de fuentes orgánicas de N del suelo.

Eriksen y Whitney (1981) al investigar el efecto de la intensidad de luz (100, 70, 45 y 25%), con 365 kg de N y sin fertilización, sobre el crecimiento de seis pastos, encontraron que en ausencia de fertilización nitrogenada, el N fue un factor más limitante del crecimiento que la luz. Concluyeron que bajo condiciones de sombra y sin fertilización, los rendimientos de materia seca se incrementan, mientras que cuando se aplica fertilización nitrogenada bajo intensidades de luz reducidas sucede lo contrario. Mencionan que este comportamiento es debido a que el nitrógeno aplicado a plena luz, no fue suficiente para soportar los máximos rendimientos en función a la radiación incidente. Así mismo, consideran que en algunas especies el rendimiento potencial fue afectado por otros factores, entre ellos una pobre adaptación o a la poca disponibilidad de N, más que por el efecto de la sombra.

## **4.7. DESCRIPCION DE LAS ESPECIES**

### **4.7.1. *Acacia mangium***

#### **4.7.1.1. ORIGEN Y CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS**

*A. mangium* Willd, conocida como "magium", pertenece a la familia Leguminosae, subfamilia Mimosoideae. En su hábitat alcanza de 25 a 30 m de altura y hasta 90 cm de DAP (CATIE, 1992). Es originaria del noreste de Australia en la pequeña área de Queensland, de una parte del suroeste de Nueva Guinea y de las Islas Molucas al este de Indonesia. Hoy día es cultivada en Sabah y Malasia, en donde se han sembrado 200.000 ha principalmente, con esta especie (Cannon, 1994). Ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias, en base a los resultados de la investigación que realizó el proyecto MADELEÑA del CATIE en conjunto con las instituciones nacionales de investigación

forestal en América Central y Panamá (CATIE, 1992; Ugalde *et al.*, 1994). Además de la buena adaptación a las condiciones de América Central, tiene buena aceptación por parte de los agricultores (Hurtarte, 1990).

*A. mangium* es un árbol de zonas bajas y cálidas (Queensland, Australia); en esta región no se encuentra por encima de los 750 msnm (Cannon, 1994). En América Central, la especie ha mostrado mejor desarrollo en altitudes hasta los 900 msnm y precipitaciones de 1500 a 4500 mm, en suelos ácidos con pH de hasta 4.5, con contenidos de arcilla altos, poca profundidad efectiva y compactados por sobrepastoreo. Sin embargo, crece mejor en los suelos de origen aluvial (CATIE, 1986; CATIE, 1992; Sánchez, 1994). En varios países, se reporta que esta especie tolera períodos secos prolongados (CATIE, 1992). En el Sur de Costa Rica se ha presentado muerte regresiva en plantaciones después de los tres años de edad, en suelos con alto contenido de aluminio (más de 50% de saturación) (CATIE, 1992). Como especie heliófita es exigente en luz (Osorio, 1994).

#### 4.7.1.2. LA ACACIA EN SISTEMAS AGROFORESTALES

Con el objeto de evaluar el potencial biológico y adaptabilidad de *A. mangium* y la producción de cultivos anuales en un ultisol (pH=4.8; bajo en fósforo, materia orgánica y alto en aluminio) se establecieron dos combinaciones agroforestales (Acacia + arroz y Acacia + frijol). El comportamiento de la Acacia no mostró diferencias significativas en cuanto a la supervivencia (98.67%), altura (0.69 m) y diámetro (1,7 cm) a los seis meses de edad. En ninguno de los casos se observó competitividad entre los componentes a los 6 meses de edad (Vásquez y Márquez, 1994).

Sánchez (1994) estudió el efecto de la rotación de arroz-caupí-*B. humidicola*; guandú-*Mucuna*-*B. humidicola* y caupí-*B. humidicola*-*B. humidicola* en el diámetro y altura de la *A. mangium* y la dinámica de nutrientes en el suelo a través del tiempo. Las rotaciones guandú-mucuna-*B. humidicola* y arroz-caupí-*B. humidicola* fueron diferentes significativamente en cuanto al diámetro y altura de la acacia a la rotación caupí-*B.*

*humiiicola-B. humidicola*, la que fue inferior. En cuanto a las propiedades químicas del suelo se encontró que tanto el pH, P, K, Mg como la materia orgánica, aumentaron su concentración en el suelo a medida que transcurrieron los años entre 1990 y 1994. La acidez intercambiable disminuyó significativamente en este período. El pH fue mayor en el lugar de muestreo cercano al árbol que en el centro de la parcela donde se cultiva el pasto *B. humidicola*, mientras que la acidez intercambiable fue menor en el sitio cercano al árbol que en la parcela donde se cultiva la *B. humidicola*. El porcentaje de sobrevivencia de *A. mangium* fue de 92% después de cuatro años de plantado.

#### 4.7.1.3. FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO

Al igual que otras leguminosas, el *mangium* forma simbiosis con una bacteria del suelo del género *Rhizobium*, que forma nódulos en la superficie de las raíces (Sánchez, 1994). En la región norte de Costa Rica, se han observado plantas con producción abundante de nódulos, en el sistema radical superficial (Roughley, 1987). Además presenta una alta capacidad de absorción de fósforo, ya que se ha identificado una asociación con el hongo *Thelephora ramariodes* el cual, ayuda a la absorción de este elemento donde existen deficiencias de elementos básicos durante las primeras etapas de crecimiento (CATIE, 1992). No presenta respuesta significativa a la aplicación de triple superfosfato, pero sí a la aplicación de éste más cal (Ocaña, 1994).

La habilidad de fijar nitrógeno y el aporte de hojarasca en forma abundante, colocan a la especie como árbol de alto potencial para la recuperación de suelos degradados (Udarbe y Hepburn, 1987). En los sitios donde se reporta la introducción de acacia, no se dan a conocer datos sobre usos en sistemas silvoagropecuarios. Sin embargo, la nodulación profusa, que favorece la fijación de nitrógeno, hace de la especie un árbol con potencial para combinación con cultivos perennes o anuales. La especie puede ser utilizada en hileras simples o múltiples, corta fuego o rompeviento, o bien como bosquetes en potreros, que eventualmente, pueden abrirse al pastoreo y aprovechamiento de la sombra por parte del ganado. Esta última modalidad se ha probado con buenos resultados en Puriscal, Costa

Rica, desde 1982 (CATIE, 1992). También se puede plantar bajo el sistema taungya, durante los primeros estadios de crecimiento, aprovechando parcialmente la fertilización de los cultivos.

#### 4.7.2. *Brachiaria humidicola*

El genero *Brachiaria* se desarrolla en altitudes por debajo de los 2000 msnm, en climas húmedos con precipitaciones anuales mayores a los 750 mm y con estaciones secas no mayores de seis meses de duración (Vallejos, 1988). Tolera la sequía, se recupera rápidamente después del pastoreo y presenta poca exigencia en fertilidad de suelos. Sin embargo, la mayoría de las especies de este género, no soportan el encharcamiento (Terherbilcock y Montoya, 1980).

Las especies del género *Brachiaria* están bien adaptadas a suelos pobres o cuando hay pocas posibilidades de hacer usos de altos insumos, pues bajo esas condiciones son capaces de manifestar adecuada velocidad de rebrote, mantener buena composición botánica y proporcionar una aceptable producción animal (Machado y Nuñez, 1991); además se ha encontrado un buen comportamiento bajo sombra (Bustamante, 1991). Esta especie se ha caracterizado por su amplia adaptación a los diversos ambientes existentes en América Tropical y su adopción por productores es cada vez mayor.

La *B. humidicola* tiene un alto potencial de producción de materia seca, dependiendo de la fertilidad del suelo y el régimen de precipitación (Salinas y Gualdrón, 1982). Estudios realizados en la Estación de Santander de Quilichao, Norte del Valle del Cauca en Colombia, en un ultisol, mostraron que el *B. humidicola* tuvo una producción de materia seca de 4945 kg/ha y 3405 kg/ha por corte a las 12 semanas de rebrote, en períodos de máxima y mínima precipitación, respectivamente (Toledo *et al.*, 1983). En las sabanas de Colombia, el *Brachiaria humidicola* bajo corte tuvo una producción promedio anual de materia seca de 9.6 ton/ha/año; en asociación con *Desmodium ovalifolium*, esta gramínea

tuvo mayor rendimiento de MS (12 ton/ha/año) en comparación con *A. gayanus* y *B. decumbens* (Grof, 1984).

Trabajos realizados en los Llanos de Colombia han mostrado que el *B. humidicola* tiene bajos requerimientos externos de N, P, K, Ca, Mg y S en comparación con *A. gayanus* y otras especies de *Brachiaria*. Estos bajos requerimientos nutricionales están asociados a la poca respuesta del *B. humidicola* al N y aplicaciones de S y cal (CIAT, 1982; Salinas y Gualdrón, 1982). Sin embargo, en otros estudios realizados en Brasil y Colombia en suelos ácidos, se han obtenido altos rendimientos de materia seca (11-30 ton/ha/año) al aplicar 20 kg de P/ha (Tergas, 1981).

El valor nutritivo de la *B. humidicola* es bajo, principalmente debido a su bajo nivel de proteína cruda, lo cual afecta negativamente su consumo. El efecto del nivel de proteína en el consumo de *B. humidicola* se estudió con carneros en jaulas metabólicas y se observó que el consumo se incrementó significativamente al aumentar el contenido de proteína en el forraje en oferta (Lascano *et al.*, 1982). En otro ensayo de pastoreo realizado en la estación experimental CIAT-Quilichao, se encontró un bajo consumo de *B. humidicola*, lo cual también se asoció con un nivel crítico de proteína en el forraje ofrecido y seleccionado (Hoyos y Lascano, 1985). En este mismo ensayo, se encontró que con una carga animal alta (5.7 an/ha) se mejoró el contenido de proteína del rebrote, pero la baja disponibilidad de forraje limitó el consumo. La baja calidad forrajera de la *B. humidicola* también fue observada por Salinas y Perdomo (1985), quienes encontraron un contenido de proteína en el tejido por debajo del 6% aún con una fertilización simple o combinada de N, K, Mg y S.

Mejoras en la calidad de la *B. humidicola* fueron observadas por Lascano y Thomas (1988) cuando esta gramínea se asoció con *Arachis pintoi*. Los resultados de este estudio en los Llanos Orientales de Colombia indicaron que las hojas de *B. humidicola* durante la época de lluvias tuvieron un contenido de proteína cruda del 8.3%, lo cual contrasta con los bajos niveles (3 a 4%) que se encuentran en esta gramínea como monocultivo.

En cuanto a la productividad animal, se han obtenido resultados muy variables en diferentes ensayos de pastoreo con *B. humidicola*, lo cual parece estar asociado con diferencias en la fertilidad del suelo, distribución de las lluvias y duración de los ensayos. En un ensayo de pastoreo realizado en los Llanos de Colombia, la *B. humidicola* se evaluó con tres cargas (2,4; 3,4 y 4,4 an/ha) en pastoreo continuo y con fertilización anual de mantenimiento ( 22, 18 y 22 kg/ha de K, Mg y S, respectivamente). Las mayores ganancias de peso por animal durante la época de lluvias (215 g/an/día) se obtuvieron con la carga media (3.4 an/ha y las menores (138 g/an/día) con la carga alta (4.4 an/ha). Durante la época seca, los animales perdieron peso en todos los tratamientos de carga (CIAT, 1983). Estas bajas ganancias de peso se explicaron por bajo consumo (1,31 kg MS/100 kg PV/día), relacionado a su vez con bajo nivel de proteína cruda (3,7%) en el forraje seleccionado.

## 5. LITERATURA CITADA

- BATEMAN, J. 1970. Nutrición animal: manual de métodos analíticos. México, Ed. Herrero, D. F., 468 p.
- BELSKY, A. J.; MWONGA, S. M.; DUXBURY, J. M. 1993. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannahs. *Agroforestry systems* 24: 1-20.
- BERTSCH, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 159 p.
- 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. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Mimeografo.
- 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.
- BUSTAMANTE, J. 1991. Evaluación de comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 131 p.

- CANNON, P. 1994. *Acacia mangium*, Origen, Características Genéticas y Comportamiento. In Seminario Técnico *Acacia mangium*, comportamiento y potencial en Panamá (1., 1994, Panamá). Resúmenes. Panamá. p 1.
- CANTLIFFE, D. 1972. Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. *Journal of the American Society on Horticultural science* 97 (2): 152-154.
- 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. Crecimiento inicial de cinco gramíneas tropicales em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). *Pasturas Tropicales*. Vol 17 (1): 24-30.
- CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1986. Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central: resultados de cinco años de investigación. CATIE. Serie Técnica. Informe técnico No. 86. 228 p.
- \_\_\_\_\_ 1992. *Mangium, Acacia mangium* Willd. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie técnica. Informe Técnico. No 196. 56 p.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1982. Programa de Pastos Tropicales. Informe anual 1981. Cali, Col. 302 p.
- \_\_\_\_\_ 1983. Programa de Pastos Tropicales. Informe anual 1982. Cali, Col. 362 p.
- CROWDER, L. V. 1982. *Tropical grassland husbandry*. London, Logman. 562 p.
- DACCARETT, M. y BLYNDESTAIN, J. 1968. La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos sobre el follaje que crece bajo ellos. *Turrialba* 18(4): 405-408.
- DIAZ-RÓMEU; 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.
- ERKSEN, F. I.; Whitney, A, S . 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. 1. Interaction of light intensity and nitrogen fertilisation on six forage grasses. *Agonomy Journal* 73: 427-433.
- ESPINOZA, A., J. 1983. Consumo y parámetros de digestión en rastrojos de maíz cultivado solo o en asocio con leguminosas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 71 p.
- ESTRADA, M. N.; GOMEZ, V. I. D. 1994. Evaluación de una pastura de *Melinis minutiflora beauven* en y sin asociación con árboles de *Pynus patula*. Tesis para optar

al grado de zootecnista. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, seccional Medellín. 54 p.

FASSBENDER, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2a ed. Turrialba, C. R. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. Programa II, Producción y desarrollo agropecuario sostenible. 530 p. (Serie Materiales de Enseñanza No. 29).

FAOSTAT. 1995. Software for the USDA and FAO.

GIRALDO, L. A.; VELEZ, G. 1993. El componente animal en los sistemas silvopastoriles. Industrias & Producción Agropecuaria. Azoodea. 1 (3): 27-31.

GIRALDO, V., L. A.; BOTERO, J.; SALDARRIAGA, J.; DAVID, P. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región Atlántica de Colombia. Agroforestería en las Américas. 8: 14-19.

HOLDRIDGE, S. J. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Instituto interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 206 p.

HOYOS, P.; LASCANO, C. 1985. Calidad de *Brachiaria humidicola* en pastoreo en un ecosistema de bosque semi-siempre verde estacional. Pastos Tropicales, Boletín Informativo (Col.) 7(2): 3-5 p.

HURTARTE, E. O. 1990. Comportamiento en plantación de Mangium (*Acacia mangium* Willd) y Aripin (*Caesalpinia velutina* (B y R) Standl) en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 117 p.

INPE. 1990. (Instituto de Pesquisas Especiais). Avaliação da cobertura florestal na Amazônia legal utilizando sensoramento remoto orbital. São José Dos Campos, Brasília. 54 p.

KASS, M. L.; RODRIGUEZ, G. 1993. Evaluación nutricional de alimentos. Turrialba, C. R., CATIE. Laboratorio de nutrición animal. 57 p. (mimeografiado).

KRISHNAMOORTHY, U.; MUSCATO, T. V.; SNIFFEN, C. J.; VAN SOEST, P. J. 1982. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. Journal of Dairy Science 65: 217.

LASCANO, C.; HOYOS, P.; VELASQUEZ, J. 1982. Aspectos de calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickdt en la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia. In Simposio sobre o Cerrado (6., 1982, Brasília). Trabalhos. Brasília, Bra. 17 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 43: 433-439.

- LIBREROS, J. H. F. 1990. Efecto de depositar en el suelo material de poda de poró (*Erythrina poeppigiana*) sobre la producción y calidad de la biomasa de king grass (*Pennisetum purpureum* × *P. Typhoides*) establecido en asocio. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 116 p.
- LOWRY, J. B., LOWRY, J.B.C., JONES, R.J. 1988. Enhanced grass growth below canopy of *Albizia lebbek*. Nitrogen Fixing Research Reports. 6: 45-46.
- LUDLOW, M. M.; WILSON, G. L.; HESLEHURST, M. R. 1974. Studies on the productivity of tropical pasture plants. Effect of shading on growth, photosynthesis and respiration in two legumes. Australian Journal of Agricultural Research 25: 425-433.
- LUDLOW, M. M.; WILSON, G. L.; HESLEHURST, M. R. 1980. Stress physiology of tropical plants. Tropical Grasslands 14: 136-145.
- 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.
- MEDINA, R. Y. 1980. Tasa de digestión y digestibilidad potencial ruminal de materiales fibrosos en función de niveles de almidón suplementario. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R. CATIE. 69 p.
- MESQUITA, M.; DE PAULA, V.; SETTE, D.; E DE ASSIS H. 1994. Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral de forragem em pastagens de *Braquiaria*. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia 23(5): 709-718.
- METHODS OF SOIL ANALYSIS. 1982. Agronomy. N 9. Parte 2. Ed. Wisconsin. U.S.A. p 643-661.
- MONTAGNINI, F., *et al.* 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2 ed. San José, Costa Rica. Organización para estudios tropicales(OET). 622 p.
- NAME, B. 1996. Dinámica del suelo en plantaciones de *Acacia mangium* asociadas al pasto humidícola. IDIAP, Panamá. Sin publicar.
- OCAÑA, G. 1994. Ensayo de fertilización en *Acacia mangium*, proyecto agrosilvopastoril-Las Pavas. In Seminario Técnico *Acacia mangium*, comportamiento y potencial en Panamá (1., 1994, Panamá). Resúmenes. Panamá. p 105.
- ORSKOV, E. 1982. Protein nutrition in ruminants. Academia Press Inc. London. 160 p.
- OSORIO, R. 1994. Manejo forestal de una plantación de *Acacia mangium* Will., Villalobos, Pedregal-Panamá. In Seminario Técnico *Acacia mangium*, comportamiento y potencial en Panamá (1., 1994, Panamá). Resúmenes. Panamá. p 36.

- PEREZ, H. E.; PEZO, D. A.; ARZE, J. 1993. Crecimiento de *Brachiaria brizantha* y *Brachiaria humidicola* asociadas con soya (*Glycine max* L.). *Pasturas Tropicales* 15(1): 2-9.
- PEZO, D.; ROMERO, F.; IBRAHIM, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. In S. Fernández Baca (de), *Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano*. FAO, Oficina regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. P. 47-98.
- ROUGHLEY, R. J. 1987. Acacias and their root-nodule bacteria. In *Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop*, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J. W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. 45-49 p. (ACIAR proceedings No. 16).
- RUSSO, R. O. ; BOTERO, R. 1996. El sistema silvopastoril Laurel-*Brachiaria* como una opción para recuperar pastizales degradados en el trópico húmedo de Costa Rica. In I Congreso Agropecuario y Forestal de la Región Huertar Atlántica. Guápiles, Costa Rica. 4 p.
- SALINAS, J. G.; GUALDRON, R. 1982. Adaptación y requerimientos de fertilización de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickdt en la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia. Cali, Col., CIAT. 21 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, R. D. 1994. Efecto de la rotación de cultivos agrícolas y pastos en *Acacia mangium* y la influencia de estos en la dinámica de nutrientes del suelo. In Seminario Técnico *Acacia mangium*, comportamiento y potencial en Panamá (1., 1994, Panamá). Resúmenes. Panamá. p 91.
- 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.
- SOMARRIBA, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guajava (*Psidium guajava*) trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 6: 153-162.
- SOMARRIBA, E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19: 233-240.

- 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, Boletín Informativo (Col.) 4: 12-13.
- TERHEEBILCOCK, P. E.; MONTOYA, H. J. A. 1980. Concentración de nitratos en *Brachiaria sp.* Y su relación con la metahemoglobinemia bovina en fincas ganaderas de Córdoba. Revista ICA (Colombia) 15: 11-16.
- TILLEY, J.; TERRY, K. 1963. A two stages techniques for the in vitro digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society (G.B.) 18(2): 131-163.
- TOLEDO, J. M. 1983. Ensamblaje de germoplasma en pasturas: Problemática de experimentación. In Germoplasma forrajero bajo Pastoreo en Pequeña Parcelas (1982, Cali, Col.). Memorias. De. Por O. Paladines; C. Lascano. Cali, Col., CIAT. p 1-10.
- TORRES, F. 1983. Role of woody perennials in animal agroforestry. Agroforestry systems 1: 131-168.
- TUDARBE, M. P.; HEPBURN, A. J. 1987. Development of *Acacia mangium* as a plantation species in Sabah. In: Australian acacias in developing countries; proceedings of an international workshop, Gympie, Queensland, 1986. Ed. J. W. Turnbull. Canberra, Australia, ACIAR. 157-159 p. (ACIAR Proceedings No. 16).
- UGALDE, L. A.; MORAN, B.; OSORIO, R. 1994. Crecimiento y rendimiento de *Acacia mangium* en plantaciones jóvenes en América Central y Panamá. In Seminario Técnico *Acacia mangium*, comportamiento y potencial en Panamá (1., 1994, Panamá). Resúmenes. Panamá. p 15.
- VALLEJOS, A. 1988. Caracterización y evaluación agronómica preliminar de accesiones de *Brachiaria* y *Panicum* en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 126 p.
- VASQUEZ, T.; MARQUEZ, E. 1994. Comportamiento de *Acacia mangium* Willdenow bajo cultivo intercalado (arroz var. Panamá 1048 y frijol var. Vita 3) en Calabacito-Veraguas; Panamá. In: Seminario Técnico *Acacia mangium*, comportamiento y potencial en Panamá (1., 1994, Panamá). Resúmenes. Panamá. p 47.
- VAN SOEST, P.; ROBERTSON, J. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. Laboratory Manual for Animal Science. Cornell University (N.Y., EE. UU.). No 613. 165 p.
- WILSON, J. R.; CATCHPOOLE, V. R.; WEIER, K. L. 1986. Stimulation of growth and nitrogen uptake by shading a rundown Green Panic pasture on Brigalow clay soil. Tropical Grasslands 20: 134-143.

- WILSON, J. R.; HILL, K.; CAMERON, D. M.; SHELTON, H. M. 1990. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. *Tropical Grasslands* 24(1): 24-28.
- WILSON, J. R.; WONG, C. C. 1982. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of Green Panic and Siratro pastures. *Australian Journal of Agricultural Research* 33: 937-949.
- WONG, C. C.; WILSON, J. R. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green Panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. *Australian Journal of Agricultural Research* 31: 269-285.
- ZELADA, S. E. 1996. Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 88 p.

## ARTICULO 1

### CARACTERISTICAS QUIMICAS DE UN SUELO ACIDO Y COMPOSICION MINERAL DE *Brachiaria humidicola* BAJO UN SISTEMA SILVOPASTORIL CON *Acacia mangium*

**PALABRAS CLAVES:** *Acacia mangium*, *Brachiaria humidicola*, fertilidad, nitrógeno, nitratos, amonio, sistema silvopastoril, suelo ácido, trópico húmedo.

#### 2.1. INTRODUCCION

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 al 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).

Una parte significativa de los nutrientes que son absorbidos por la planta son devueltos al suelo a través de la descomposición de los residuos vegetales. Palm (1995), establece que materiales de alta calidad (alto porcentaje de N, adecuada relación lignina:nitrógeno, lignina + carbono: nitrógeno, polifenoles:nitrógeno) liberan los nutrientes a una velocidad muy alta, lo que produce pérdida y baja utilización de los mismos. Sin embargo, Glover y Beer (1987) afirman que la limitación del nitrógeno en sistemas agroforestales, no está definida

primordialmente por los factores que afectan la descomposición de las hojas, sino por la cantidad del material depositado (hojarasca) en el suelo y por su distribución en el tiempo.

La mayoría de estudios realizados en zonas tropicales, han demostrado que los árboles y arbustos leguminosas tienen la capacidad de fijar una alta cantidad de N (hasta 150 kg/ha) (Ibrahim, 1994; Abarca sin publicar) y éste contribuye al mejoramiento en el nivel de N en el suelo y en el pasto (Daccarett y Blyndestein, 1968; Bronstein, 1984; Bustamante, 1991; Belsky, 1992; Carvalho, 1994). Bustamante (1991) reporta mayores contenidos de materia orgánica y N en el suelo donde fueron establecidos diferentes pastos asociadas con *Erythrina poeppigiana* en comparación a los monocultivos. 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).

En algunos casos la presencia de árboles pueden incrementar la disponibilidad de P, Ca, K y Mg (Bronstein, 1983; Torres, 1983; Montagnini, 1992; Russo y Botero, 1996). Cooperband (1992) encontró en condiciones del trópico húmedo de Costa Rica, que *Erythrina berteroana* incrementó significativamente el fósforo en el suelo, tanto espacialmente como temporalmente; además observó un efecto sinérgico positivo con el pastoreo.

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.

## **2.2. MATERIALES Y METODOS**

### **2.2.1. DESCRIPCION DEL AREA 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. La topografía de terreno es del 2%.

El suelo es un Typic Plinthudult, fino, mezclado isohipertérmico, profundo, ácido, de estructura en bloques subangulares y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 14cmol (+) / 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.

### **2.2.2. DESCRIPCION 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, el primero en febrero de 1998, coincidiendo con la época de mayor sequía y el segundo se realizó a finales 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 del suelo y del pasto en el sistema silvopastoril de *Acacia mangium* con *B. humidicola* (SSP). Para ello se utilizaron parcelas de 18 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup>, 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 UA/ha en la época lluviosa y de 1 UA en la época seca; con 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.

### 2.2.3. ANALISIS QUIMICOS

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 correspondientes análisis químicos. Para la determinación de amonio y nitratos, para los cuales 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 H<sub>2</sub>O 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 le 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 hará por espectrofotómetro. La % de N por el método de Micro Kjendahl, (Bateman (1970).

## **2.3. RESULTADOS**

### **2.3.1. 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).

El contenido de humedad del suelo fue mayor para SPS 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) (Figura 1).

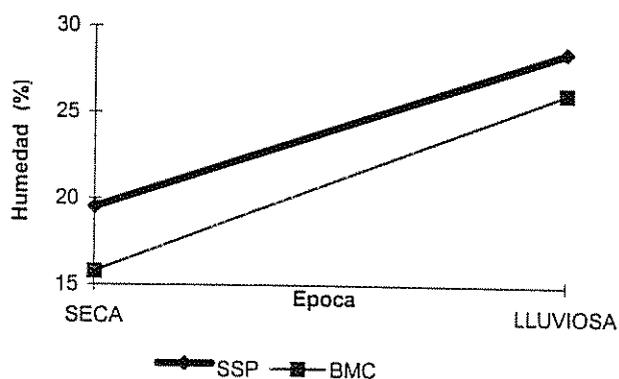


Figura 1. Concentraciones de P, N, amonio y nitratos en un suelo bajo un Sistema Silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y bajo *B. humidicola* como monocultivo (BMC).

Cuadro 1. Comparación de variables de fertilidad del suelo por época

VARIABLES	EPOCA				DMS	
	EPOCA SECA		EPOCA LLUVIOSA			
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 paréntesis corresponden a la desviación estándar.

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 2). 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.

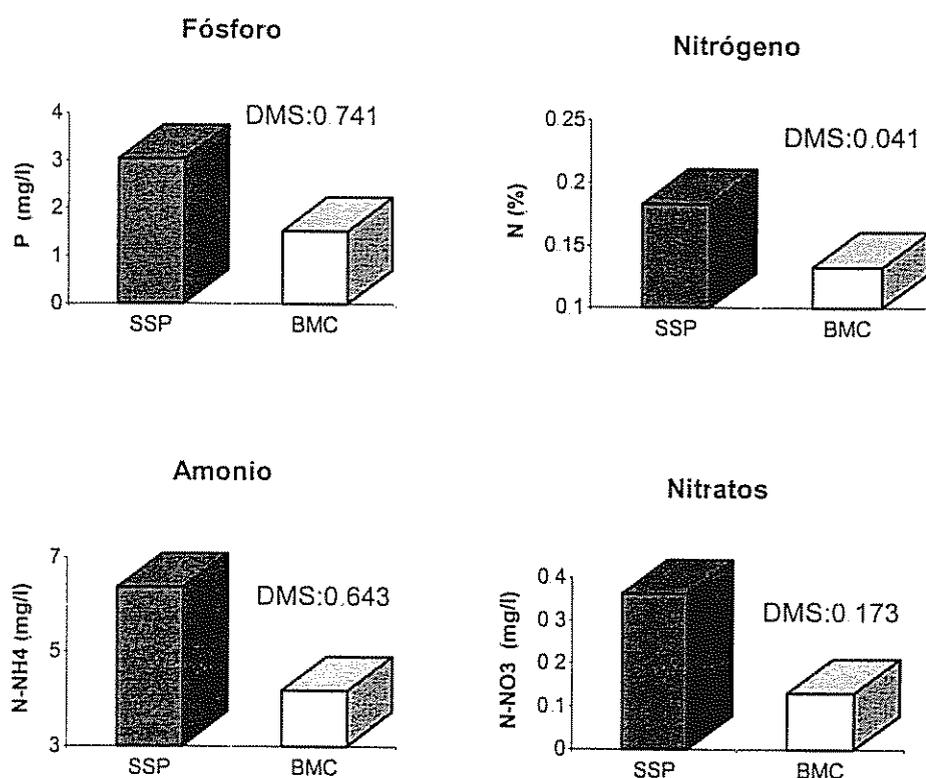


Figura 2. Concentraciones de P, N, amonio y nitratos en un suelo bajo un Sistema Silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y bajo *B. humidicola* como monocultivo (BMC).

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 *A. mangium***

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

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

Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

### 2.3.2. Contenido de nutrientes foliares

En la figura 3, 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.

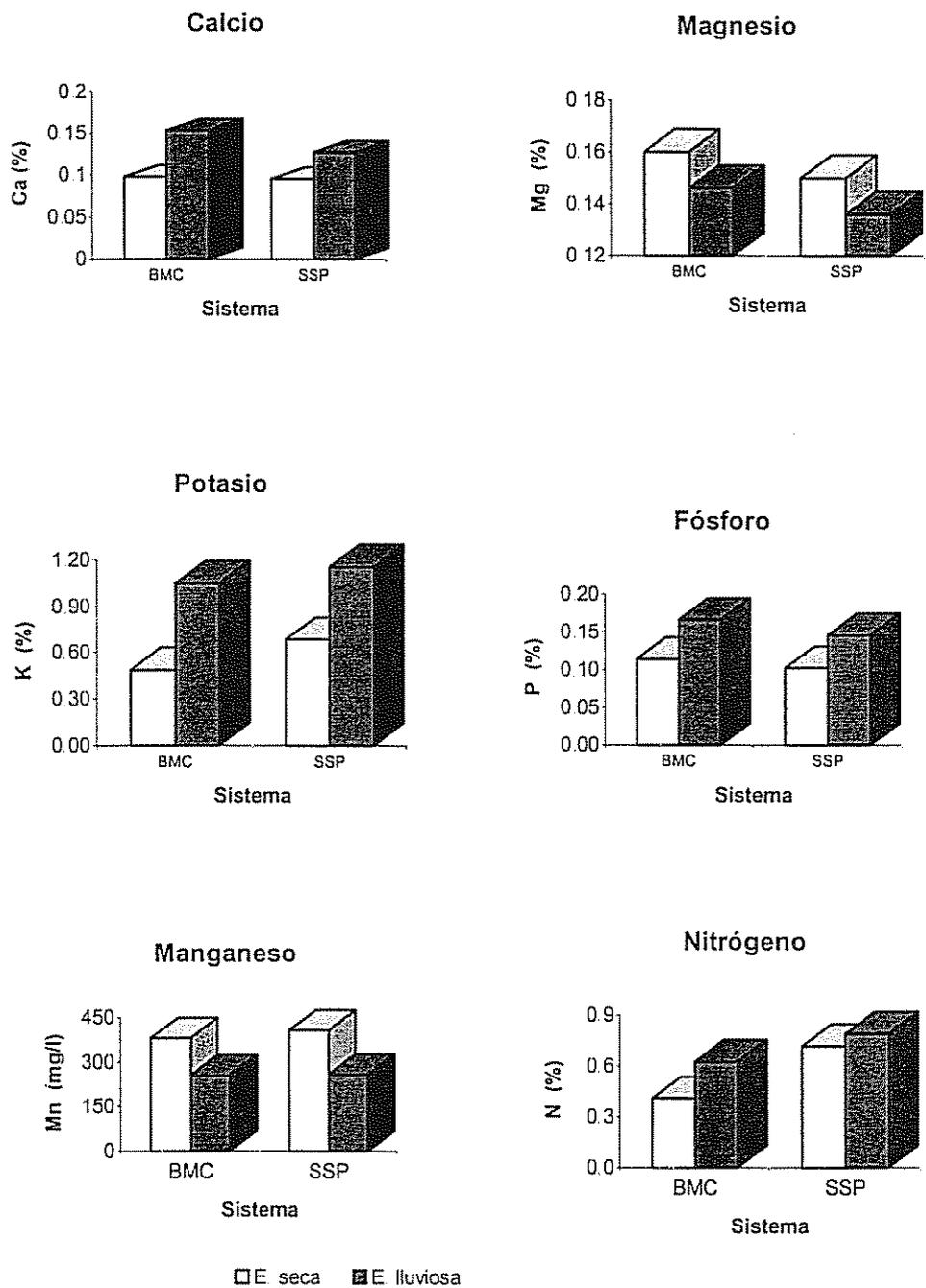


Figura 3. Efecto de la época sobre la concentración de minerales de *B. humidicola*, creciendo a pleno sol (BMC) y en un Sistema Silvopastoril con *A. mangium* (SSP).

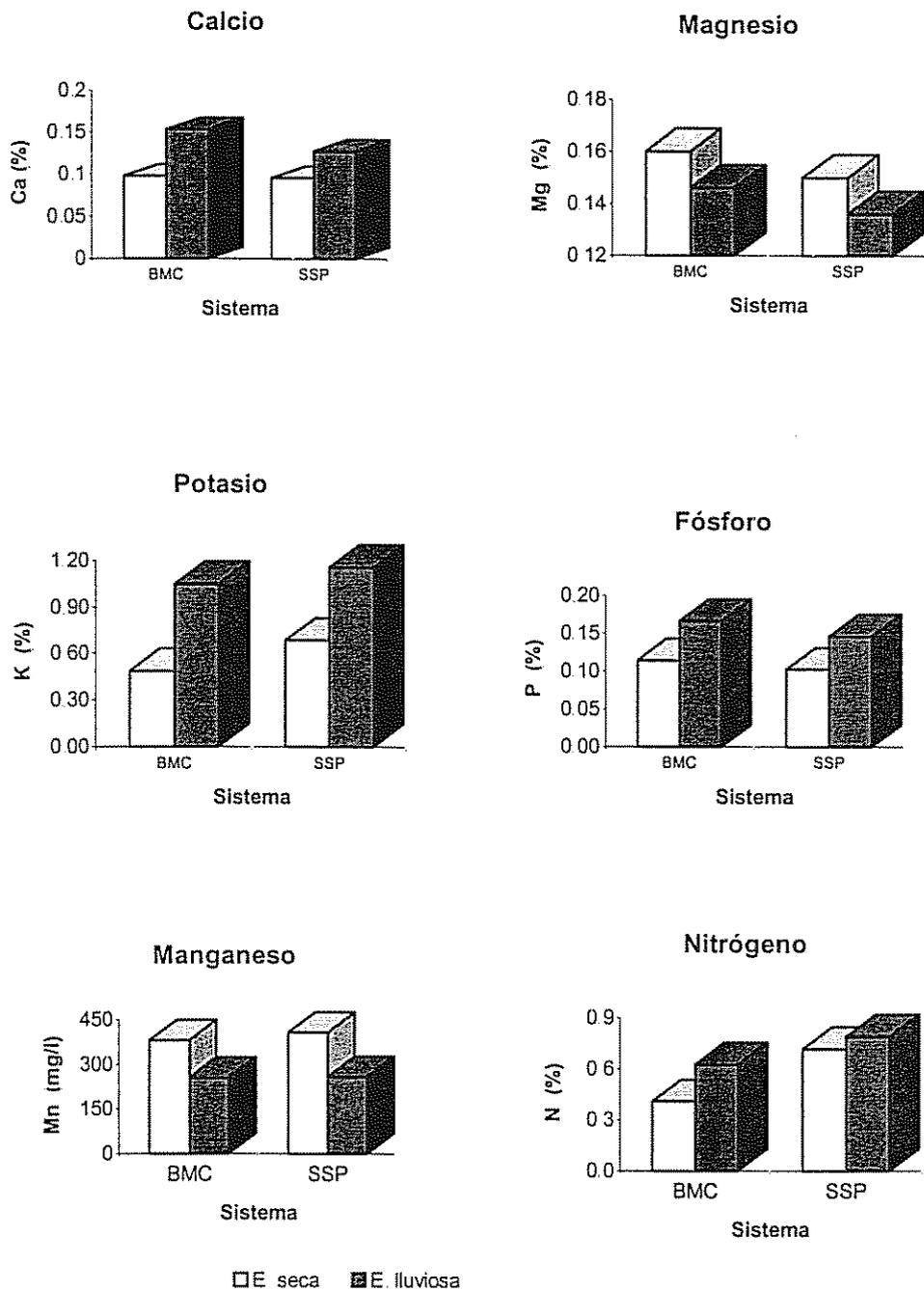


Figura 3. Efecto de la época sobre la concentración de minerales de *B. humidicola*, creciendo a pleno sol (BCM) y en un Sistema Silvopastoril con *A. mangium* (SSP).

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 (0.1)	0.75 (0.14)	0.72 (0.11)	0.071
Ca (%)	0.11 (0.02)	0.11 (0.02)	0.11 (0.02)	0.016
Mg (%)	0.14 (0.02)	0.14 (0.02)	0.14 (0.02)	0.016
K (%)	0.92 (0.29)	0.76 (0.25)	0.74 (0.29)	0.209
P (%)	0.12 (0.03)	0.13 (0.04)	0.13 (0.04)	0.043
Mn (mg/l)	334 <sup>a</sup> (81.8)	367 <b>b</b> (110)	382 <b>b</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.

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.

## 2.4. DISCUSION

### 2.4.1. 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 fueron mayores para el suelo 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 si 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, sin publicar) 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*) (Bruce *et al.*, 1986; Goodehild and Mc Meniman, 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 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). En pastos creciendo bajo sombra artificial se encontró un menor estrés hídrico en comparación con las pasturas establecidas a pleno sol (Wilson, 1996), especialmente en la época seca; 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, sin publicar 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 (Fisher, 1995; Name, 1996), 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 publicar), 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 SSP 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 períodos 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 del suelo en zonas templadas, aunque dicho efecto no es tan claro en suelos tropicales. La nitrificación es baja cuando la temperatura supera los 40 °C, siendo óptima en un rango de temperatura entre 30 y 35 °C ((Paul y Clark, 1996).

Los mayores niveles de P en suelos bajo acacia concuerdan con los resultados encontrados por Velasco (sin publicar), 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 ramariodes*, el cual mejora la absorción de micro y macronutrientes, especialmente del fósforo (Liang, 1986). Velasco (sin publicar) 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.

#### **2.4.2. 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); Salinas y Perdomo (1988); Santana, *et al.*, (1993).

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  $\text{NO}_3^-$  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 (Nárvaez y Lascano, 1989; Botrel, *et al.*, 1990; Filho, 1992). 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 humidícola, 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.

## **2.5. 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. Los contenidos de humedad, P y  $\text{N-NO}_3^-$ , el pH y la acidez del suelo, fueron mayores en la época de mayor precipitación, excepto para la acidez.

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.

## 2.6. 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. Aplicação de nitrogênio 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 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. CATIE Turrialba Costa Rica Mimeografo
- 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 gramíneas 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.; MAWANZA, 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 gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). *Pasturas Tropicales* 17 (1): 24-30.
- COOPERBAND, L. 1992. Soil phosphorus dynamics in a humid tropical silvopastoral system. PhD. Thesis, Ohio, Ohio State University, U.S. 400 p.
- DACCARETT, M. y BLYNDESTEIN, J. 1968. La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos sobre el follaje que crece bajo ellos. *Turrialba* 18(4): 405-408.
- DIAZ-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.
- GOODCHILD, A.V.; Mc MENIMAN, N.P. Nutritive Value of *Acacia* Foliage and Pods for Animal Feeding. *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. p 101-106.
- IBRAHIM, M.A. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixtures for sustainable animal production in the Atlantic Zone of Costa Rica. Ph. D. Thesis. Wageningen, Holanda. Agricultural University of Wageningen 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 N° 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° 9 Parte 2 Ed. Wisconsin. USA. 643-661 p.
- MONTAGNINI, F. 1992. *Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos*. 2 ed San José Costa Rica Organización para estudios tropicales(OET) 622 p.
- NAME, B. 1996. Dinámica del suelo en plantaciones de *Acacia mangium* asociadas al pasto humidícola. IDIAP, Panamá. Sin publicar.
- NARVAEZ, N; LASCANO, C. 1989. Digestibilidad in vitro de especies forrajeras tropicales. 1. 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.E. 1990. Evaluación del ensayo clonal de *Erythrina spp.* en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 111 p.
- RUSSO, R. O. y BOTERO R 1996 El sistema silvopastoril Laurel-Bachiaria como una opción para recuperar pastizales degradados en el trópico húmedo de Costa Rica. *In I Congreso Agropecuario y Forestal de la Región Huetar Atlántica*. Guápiles, Costa Rica. 4 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 29-58p.

- SANCHEZ y 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. Y 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 p 2.
- TORRES F 1983 Role of woody perennials in animal agroforestry. *Agroforestry Systems* 1: 131-168
- 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.; CATCHPOOLE, 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.R. 1996. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. *Australian Journal Agriculture Research* 47: 1075-1093.
- 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. p 95-100.
- XUAN, A. B.; LUU, T .H.; DUONG, K.N.; PRESTON, T.R. 1992. Effect of positios in the tree and pretreatment of *Acacia mangium* leaves on rumen dry matter and nitrogen degradabilities. *Livestock Research for Rural Develoment* 4(2) sin p.

## ARTICULO 2

### SOLUBILIDAD DE LA PROTEINA Y DEGRADABILIDAD RUMINAL de *Brachiaria humidicola* EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL CON *Acacia mangium* EN EL TROPICO HUMEDO

**PALABRAS CLAVES:** Degradabilidad *in situ*, proteína cruda, pared celular, materia seca, DIVMS, FDN, FDA, lignina, suelos ácidos.

#### 3.1. INTRODUCCION

Los árboles ejercen varios efectos sobre el ecosistema de las pasturas, siendo la mayoría de esos efectos benéficos. Dichos efectos dependen de la magnitud del sombreado, la cual a su vez depende de la densidad de árboles, del arreglo espacial, de la altura que estos alcancen, así como de la arquitectura y fenología que caracterice la especie del árbol.

El microclima que se genera por el sombreado del árbol y el aumento en la disponibilidad de N en el suelo tienen incidencia sobre la calidad de las gramíneas. Al respecto, se han realizado algunos trabajos, encontrándose un mayor contenido de proteína cruda (PC) en las gramíneas asociadas con árboles (Daccarett y Blyndestein, 1968; Bronstein, 1984; Bustamante, 1991; Belsky, 1993; Carvalho, *et. al.*, 1994) en comparación con las establecidas a pleno sol.

Otra característica afectada por los árboles es la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), parámetro importante en términos de definir la calidad de la gramínea. Algunos autores reportan mayores valores cuando las gramíneas están asociadas con árboles, aunque dichas diferencias no han sido significativas (Bronstein, 1984; Bustamante, 1991), mientras que otros autores han encontrado disminuciones en la DIVMS de algunas gramíneas bajo la copa, en comparación con la pradera abierta (Wilson y Wong, 1982; Belsky, 1993).

En algunos países del trópico, como Panamá y Colombia, se está comenzando a implementar sistemas silvopastoriles de *Acacia mangium* con *Brachiaria humidicola*,

debido a la buena adaptabilidad de estas especies a suelos ácidos. Además la *A. mangium* se desarrolla bien en suelos con altos contenidos de arcilla, poca profundidad efectiva y compactados por sobrepastoreo (CATIE, 1986; CATIE, 1992; Sánchez, 1994).

La *B. humidicola* se ha caracterizado por su amplia adaptación a los diversos ambientes existentes en América Tropical y su adopción por productores es cada vez mayor. Es una especie bien adaptada a suelos pobres o cuando hay pocas posibilidades de hacer uso de altos insumos, pero su valor nutritivo es bajo, principalmente debido a su bajo nivel de PC. En este sentido es importante aprovechar el efecto positivo que pueden tener los árboles sobre el contenido de PC, especialmente si este es una leguminosa. Al respecto, Bustamante (1991) reporta un incremento del 24 % en asocio con *Erythrina poeppigiana* en comparación con los valores encontrados en la *B. humidicola* como monocultivo. Similares resultados fueron observados por Lascano y Thomas (1988) cuando esta gramínea se asoció con *Arachis pintoi*.

Se desconoce como la degradabilidad de la MS, PC y pared celular varía en condiciones bajo sombra, como consecuencia del microclima y los cambios en la composición del suelo. Estos parámetros son importantes para conocer el verdadero potencial de este forraje y hacer un uso más eficiente en el desarrollo de sistemas de alimentación animal.

Con base en lo anterior se planteó el presente estudio con el fin de determinar el efecto que tiene la *Acacia mangium* sobre la calidad forrajera de *B. humidicola*, en términos de PC, FDN, FDA, lignina, DIVMS, solubilidad de la proteína (PCLFDN) y degradabilidad de la MS, FDN y PC.

## **3.2. MATERIALES Y METODOS**

### **3.2.1. Localización**

El estudio se realizó en la finca experimental y el laboratorio de Fitoquímica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica. Ubicado a 9° 53' Latitud Norte y 83° 38' Longitud Oeste y a 602 msnm de altitud. La

temperatura media anual es de 22.1°C, con una precipitación media anual de 2600 mm distribuidos más o menos en forma uniforme durante todo el año, y una humedad relativa de 90.4% (CATIE, 1987). Corresponde a la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano (Holdridge, 1978).

Las muestras del material fueron tomadas en la Estación Experimental de Calabacito en Panamá y estuvieron compuestas por hojas y tallos. El sitio y la forma en que se realizó la toma de muestras fueron similares a las descritas por (Bolívar, 1998).

### **3.2.2. Animales y Alimentación**

Se utilizaron dos novillos cruzados romosinuanos x cebú, machos, castrados, con fistula permanente al rumen, de 53 meses de edad y con pesos de 624 y 648 kg. La dieta que se les suministró estuvo compuesta por 70% de gramíneas (*Panicum maximum* y *Cynodon nlemfuensis*) y 30% de leguminosas (*Gliricidia sepium* y *Calliandra calothyrsus*), con agua y sal a voluntad. El alimento fue suministrado en dos porciones iguales cada 12 horas, a fin de mantener relativamente estable el ambiente ruminal.

### **3.2.3. Incubación del pasto en el rumen**

Se utilizó la técnica de bolsa porosa de dacrón, según la metodología descrita por Orskov *et al.* (1981). El forraje se incubó seco y molido en una criba de 2 mm. Se utilizaron bolsas de dacrón de aproximadamente 17 cm de largo por 9 cm de ancho, con un poro promedio de 52  $\mu$ , las costuras selladas con goma de silicón y los bordes inferiores redondeados. Se pesaron 5 g de muestra para cada bolsa, la cual se amarró con un cordón de nylon. Las bolsas se sujetaron a una cadena de acero inoxidable de 40 cm de largo, depositándose ésta en el saco ventral del rumen de los animales.

Los tiempos de incubación fueron: 0, 4, 8, 16, 32, 48 y 72 horas. Se inició con la introducción de las bolsas de cada tratamiento para el mayor tiempo de incubación, finalizándose con el tiempo cero; a cada animal se le introdujeron 56 bolsas. Cumplidas las 72 horas de incubación las bolsas del rumen fueron retiradas y lavadas con agua potable

con el fin de eliminar los residuos adheridos, posteriormente en el laboratorio se adicionaron las bolsa no incubadas (tiempo cero), las cuales se lavaron en tres fases de 5 minutos cada una, en una lavadora portátil. Posteriormente se exprimieron y se secaron en un horno de aire forzado a 60°C durante 48 horas. La pérdida de peso se consideró como el valor de desaparición de la MS.

### 3.2.4. Análisis químicos

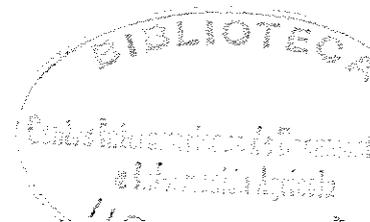
Las muestras de *B. humidicola* fueron refrigeradas durante el transporte al laboratorio de Fitoquímica del CATIE, donde posteriormente se secaron a 60 °C, durante 48 horas y posteriormente molidas en un molino Milley, utilizando una criba de 1 mm. A estas muestras se les determinó fibra en detergente neutro (FDN), Fibra en detergente ácido (FDA), lignina y cenizas por el método descrito por Van Soest y Robertson (1985); proteína cruda (PC) por Micro-Kjeldahl, descrito por Bateman (1970) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) según la técnica de Tilley y Terry (1963). La solubilidad de la proteína se determinó mediante la solución buffer de borato-fosfato (Krishnamoorthy *et al.*, 1982).

### 3.2.5. Estimación de los parámetros de degradación ruminal

Los porcentajes de degradación de MS, PC y FDN en cada tiempo de incubación se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de degradabilidad} = \frac{\text{Cantidad inicial (g)} - \text{Cantidad residual (g)}}{\text{Cantidad inicial (g)}} * 100$$

El ajuste de las curvas de degradabilidad acumulativa, se realizaron mediante el procedimiento de regresión no lineal (NON-LIN) de Marquardt, del paquete estadístico SAS (1985). La degradabilidad de la MS fue ajustada por el modelo descrito por Orskov (1982):



$$Y = a + b (1 - e^{-ct})$$

Donde:

- Y = Porcentaje de degradación acumulada en el tiempo "t", %.
- a = Intercepto de la curva de degradación cuando t = 0 (degradabilidad inicial), %.
- b = Fracción degradada por acción de los microorganismos, %.
- c = Tasa de degradación, horas.
- t = Tiempo de incubación en el rumen, horas.
- e = Base de los logaritmos naturales.

Con este modelo se calculó la degradabilidad potencial (a+b), fracción potencialmente degradable por acción microbiana cuando t = ∞.

Para el cálculo del porcentaje de degradación ruminal de la PC, se utilizó el modelo propuesto por Medina (1980):

$$Y = A - b e^{-ct}$$

Donde:

- Y = Degradabilidad ruminal acumulativa de la proteína cruda del forraje, %.
- A = Degradabilidad potencial de la PC en el rumen, %.
- b = Fracción degradada por los microorganismos del rumen, %.
- c = Tasa de degradación de la PC en el rumen, h.
- t = Tiempo de incubación, h.
- e = Base de los logaritmos naturales.

La degradación ruminal acumulativa de los constituyentes de la pared celular (FDN), en función del tiempo, se estimó por el modelo "no lineal" utilizado por Espinoza (1983):

$$Y = A (1 - e^{-b(t-l)})$$

Donde:

- Y = Degradabilidad acumulativa de los constituyentes de la pared celular en el tiempo
- A = Degradabilidad potencial de la FDN, %.
- b = Tasa de degradabilidad de la FDN,
- t = Tiempo de incubación en el rumen, h.
- l = Largo del período prefermentativo, h.
- e = Base de los logaritmos naturales.

### 3.2.6. Tratamientos y Diseño Experimental

Para evaluar el efecto de la acacia sobre la calidad y parámetros de degradabilidad de la *B. humidicola* se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió al tipo de sistema (S) y las subparcelas estuvieron constituidas por la época (E). El factor S constó de dos niveles (*Brachiaria humidicola* como monocultivo (BMC) y bajo un sistema silvopastoril con acacia (SSP), al igual que el factor E (época seca y época lluviosa). Cada tratamiento tuvo con cinco repeticiones. Para la degradabilidad de la proteína se utilizaron cuatro repeticiones.

Para evaluar la variabilidad espacial de la calidad de *B. humidicola* a diferentes distancias del árbol, se utilizó el mismo diseño. Las parcelas grandes estuvieron constituidas por las distancias al árbol (D), y las subparcelas por la época (E). El factor D constó de tres niveles (1, 2.5 y 4 m) y el factor E por dos (época seca y época lluviosa). Fueron utilizadas cinco repeticiones por tratamiento.

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 entre medias por medio de una 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.

Los coeficientes de correlación de Pearson se hallaron utilizando el procedimiento estadístico PROC CORR de SAS (1985).

### 3.3. RESULTADOS

#### 3.3.1. Caracterización nutritiva de *Brachiaria humidicola*

El análisis de varianza detectó efectos significativos de la época sobre los porcentajes de PC, DIVMS, hemicelulosa y solubilidad de la proteína, los cuales fueron mayores en la época lluviosa. También se encontraron diferencias significativas sobre los contenidos de lignina, proteína ligada a la pared y FDA siendo superiores en la época seca. (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Caracterización nutricional de *B. humidicola* en las diferentes épocas.**

VARIABLES	EPOCA				
	EPOCA SECA		EPOCA LLUVIOSA		DMS
FDN (%)	85.70	(0.96)	85.42	(2.23)	1.22
FDA (%)	50.87	(1.24)	48.11	(1.82)	1.06 **
HEMICELULOSA (%)	34.83	(0.99)	37.31	(2.85)	1.69 **
CELULOSA (%)	38.20	(0.86)	37.58	(1.52)	0.88
LIGNINA (%)	11.73	(0.44)	9.11	(0.72)	0.57 **
PC (%)	3.52	(1.09)	4.44	(0.78)	0.426 **
DIVMS (%)	37.72	(2.63)	52.41	(2.6)	1.73 **
SOLUBILIDAD de PC (%)	51.88	(5.19)	59.00	(5.41)	4.95 **
PC LIGADA A FDN (%)	6.08	(0.64)	3.81	(0.52)	0.42 **

\*\* Diferencia significativa (P<0.01).

Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

DMS= diferencia mínima significativa

Se detectaron interacciones significativas entre época y sistema para los contenidos de FDA, hemicelulosa y celulosa (Figura 4). En la época lluviosa se presentaron mayores

valores de FDA y celulosa en la gramínea bajo el SSP y mayor porcentaje de hemicelulosa en BMC; mientras que en la época seca no se presentaron diferencias significativas para los contenidos de hemicelulosa y celulosa en los dos sistemas. Por el contrario se presentaron mayores niveles de FDA en la BMC en la época seca. No hubo efecto significativo de la época sobre los valores de estas tres variables en el pasto bajo el SSP, mientras que si fueron altamente significativas en la BMC.

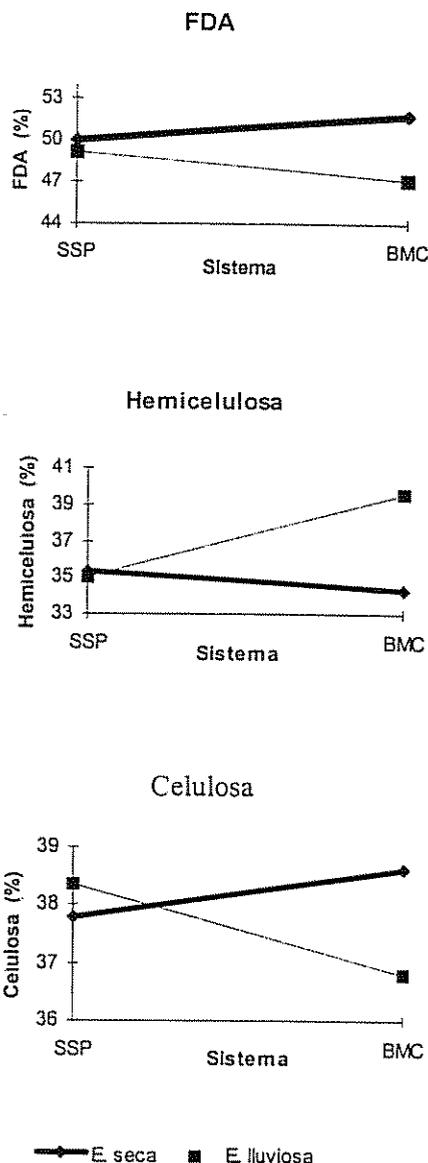
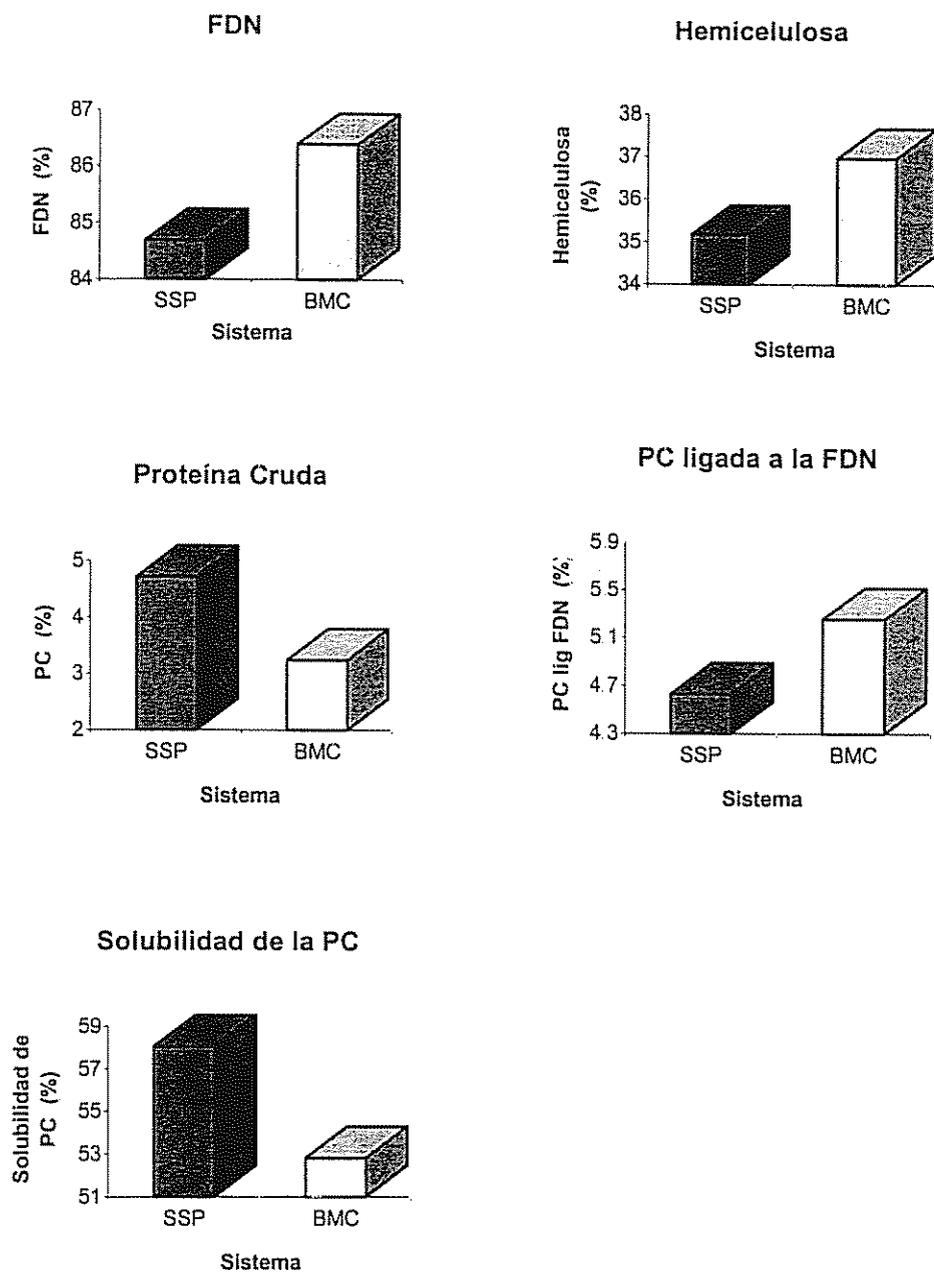


Fig 4. Contenidos de FDA, hemicelulosa y celulosa en *B. humidicola* bajo un SSP con *A. mangium* y como monocultivo en las diferentes épocas.

Los contenidos de FDN ( $P < 0.05$ ), hemicelulosa ( $P < 0.0004$ ) y proteína ligada a la pared ( $P < 0.026$ ), de la *B. humidicola* fueron mayores en BMC, mientras que la PC ( $P < 0.0001$ ) y la solubilidad de la proteína ( $P < 0.024$ ) del pasto fueron mayores en el SSP (Figura 5). No se presentaron diferencias significativas para los porcentajes de FDA, celulosa y lignina (FDA 49.53 vs 49.45; celulosa 38.08 vs 37.7; lignina 10.45 vs 10.39 para el SSP y BMC, respectivamente).

La DIVMS tendió a ser mayor en el SSP con acacia, pero la diferencia no fue significativa (46.16 vs 43.97). En cuanto al análisis a diferentes distancias, solo se encontró diferencia significativa para DIVMS ( $P < 0.007$ ), cuyos valores fueron superiores en D1 y D2 con relación a D3.



**Figura 5.** Contenidos de FDN, hemicelulosa, PC, PC ligada a la pared y solubilidad de la PC de *B. humidicola* como monocultivo (BMC) y bajo un sistema silvopastoril con *A. mangium* (SSP).

La PC y solubilidad de la proteína presentaron mayores valores cerca del árbol (D1), pero las diferencias no fueron significativas (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Caracterización nutricional de *Brachiaria humidicola* en las diferentes distancias de la hilera de árboles de *A. mangium***

VARIABLES	DISTANCIA						
	D1 (1 m)		D2 (2.5 m)		D3 (4 m)		DMS
FDN (%)	84.7	(1.62)	84.47	(3.09)	85.42	(2.1)	3.01
FDA (%)	49.53	(1.19)	49.91	(1.69)	49.39	(2.13)	1.86
Hemicelulosa (%)	35.17	(1.59)	34.56	(3.08)	36.03	(2.13)	2.54
Celulosa (%)	38.08	(1.03)	37.88	(1.35)	37.63	(1.09)	1.33
Lignina (%)	10.45	(1.52)	10.7	(1.38)	10.35	(1.84)	1.15
PC (%)	4.72	(0.65)	4.69	(0.89)	4.53	(0.69)	0.44
Solubilidad de PC (%)	58.06	(3.31)	54.12	(5.59)	55.46	(5.9)	4.79
PC ligada a FDN %	4.63	(1.09)	5.12	(1.33)	5.25	(1.82)	0.85
DIVMS (%)	46.16	(8.8)	44.09	(6.99)	43.01	(9.32)	2.19 **

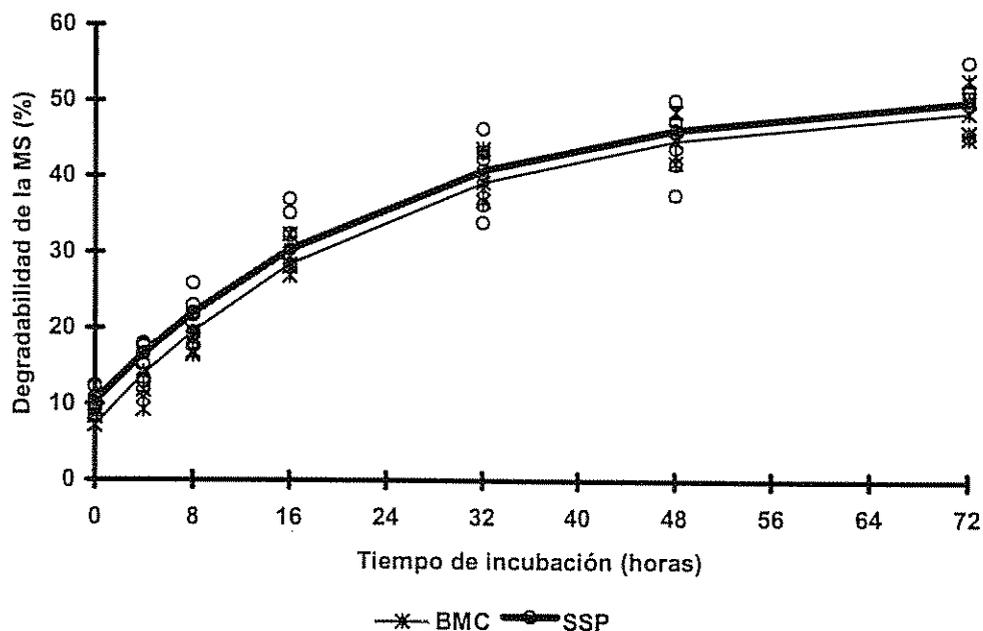
\*\* Diferencia significativa ( $P < 0.01$ ).

Valores dentro de los paréntesis corresponden a la desviación estándar.

### 3.3.2. Degradabilidad ruminal de la MS

En el cuadro 6 y figura 6, se pueden observar los valores de los parámetros de degradabilidad ruminal de la MS de *B. humidicola* en las diferentes épocas y sistemas. En el análisis de varianza se detectó diferencia significativa entre épocas ( $P < 0.0003$ ) para degradabilidad inicial (DI), degradación potencial (DP), tasa de degradación (TD) y fracción degradada por los microorganismos (b) ( $P < 0.01$ ), los cuales fueron superiores en la época lluviosa. Se encontró diferencia significativa para DI en los diferentes sistemas ( $P < 0.01$ ), siendo superior en el SSP. Los valores de b, DP y TD fueron mayores en el SSP, aunque no detectó diferencia significativa, siendo la DP superior en un 4 % bajo este sistema.

### Epoca seca



### Epoca lluviosa

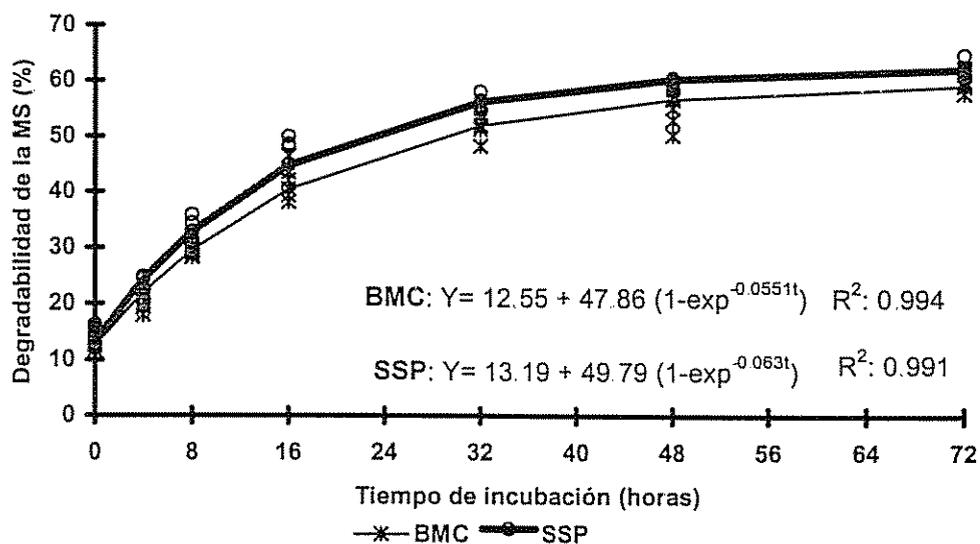


Figura 6. Degradabilidad ruminal de la MS de follaje de *Brachiaria humidicola* creciendo en un sistema silvopastoril (SSP) y en monocultivo (BMC) durante dos épocas

### 3.2.3. Degradabilidad ruminal de la pared

Se encontró un efecto significativo de la época sobre DP ( $P < 0.004$ ), TD ( $P < 0.004$ ), presentando mayores valores en la época lluviosa y sobre el período prefermentativo (1) ( $P < 0.04$ ), el cual fue superior en la época seca. Entre sistemas se detectó diferencia ( $P < 0.0009$ ) para 1, siendo mayor en la BMC (Cuadro 7, Figura 7).

**Cuadro 6. Parámetros de degradabilidad ruminal *in situ* de la MS de *Brachiaria humidicola* bajo un sistema silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y como monocultivo (BMC) en las diferentes épocas**

	DI %	b %	DP %	TD horas
<b>Epoca</b>				
SECA	8.78 (2.11)	43.64 (3.74)	52.42 (4)	0.04 (0.007)
LLUVIOSA	12.87 (1.48)	48.99 (2.34)	61.86 (2.06)	0.06 (0.008)
DMS	1.55 **	3.78 **	3.56 **	0.007 **
<b>Sistema</b>				
BMC	9.89 (3.16)	46.13 (3.97)	56.02 (5.68)	0.048 (0.009)
SSP	11.76 (2)	46.50 (4.42)	58.26 (5.89)	0.053 (0.014)
DMS	1.46 **	2.72 ns	2.88 ns	0.0075 ns

\*\* Diferencia significativa ( $P < 0.01$ ); ns= no significativa.

Valor entre paréntesis corresponde a la desviación estándar.

DMS= Diferencia mínima significativa.

**Cuadro 7. Parámetros de degradabilidad ruminal *in situ* de la pared de *Brachiaria humidicola* en un sistema silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y como monocultivo (BMC) en las diferentes épocas**

	DP %		TD horas		I horas	
	Epoca					
SECA	50.41	(5.86)	0.036	(0.009)	-1.381	(1.533)
LLUVIOSA	59.37	(3.11)	0.061	(0.014)	-2.383	(0.577)
DMS	5.12 **		0.014 **		0.921 *	
	Sistema					
BMC	53.27	(6.60)	0.048	(0.018)	-1.14	(1.14)
SSP	56.51	(6.27)	0.049	(0.018)	-2.63	(0.83)
DMS	4.41 ns		0.013 ns		0.676 **	

\*\* Diferencia significativa (P < 0.01). \* Diferencia significativa (P < 0.05).  
 ns: no significativo; DMS= Diferencia mínima significativa.  
 Valor entre paréntesis corresponde a la desviación estándar.

### 3.2.4. Degradabilidad ruminal de la PC

La época (P < 0.01) y el sistema (P < 0.004) afectaron significativamente la DP, la cual fue superior en la época lluviosa y bajo el SSP (Cuadro 8, Figura 8). Los resultados de la DP de la PC muestran que la *humidicola* bajo el SSP tuvo una dinámica de degradación en el tiempo diferente a la que se observó en la BCM, encontrándose un valor de la DP de 67.4 % bajo el SSP, superando en un 22.5 % la encontrada en BMC. No se detectaron diferencias significativas para B y TD en las diferentes épocas y sistemas.

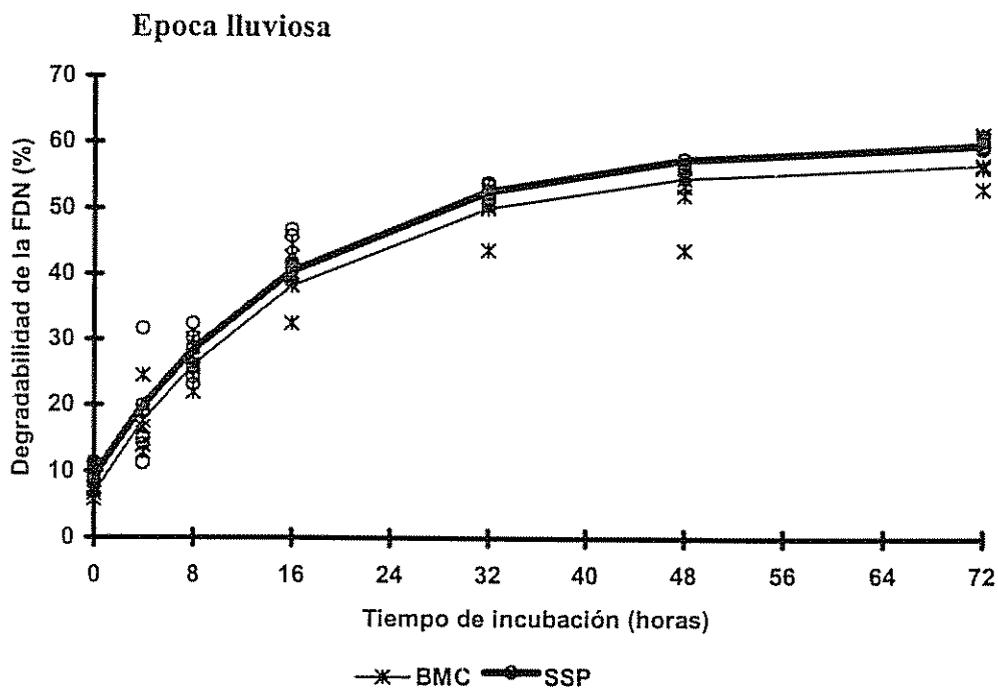
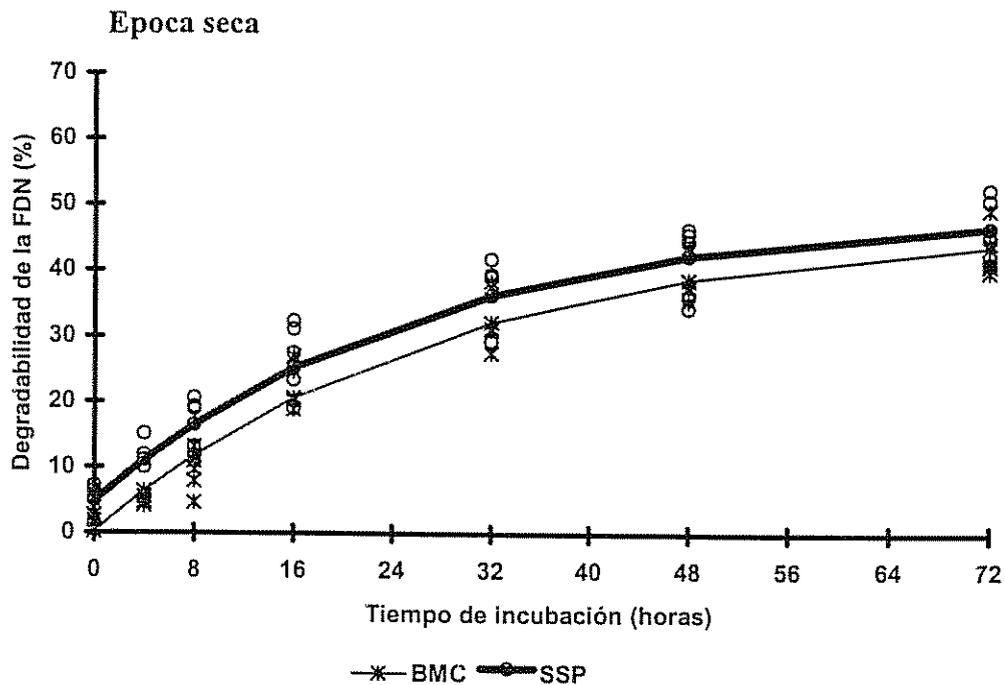


Figura 7. Degradabilidad ruminal de la pared de follaje de *Brachiaria humidicola* creciendo en un sistema silvopastoril con *Acacia mangium* (SS) y en monocultivo (BMC) durante dos épocas.

**Cuadro 8. Parámetros de degradabilidad ruminal *in situ* de la PC de *Brachiaria humidicola* en un sistema silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y como monocultivo (BMC) en las diferentes épocas**

	DP %		B %		TD horas	
	Epoca					
SECA	56.79	(8.56)	31.66	(8.15)	0.046	(0.024)
LLUVIOSA	65.59	(8.06)	26.26	(7.01)	0.07	(0.028)
DMS	6.79 *		10.70 ns		0.041 ns	
	Sistema					
BMC	55	(8.39)	26.70	(9.33)	0.061	(0.032)
SSP	67.37	(5.04)	31.22	(5.79)	0.054	(0.025)
DMS	6.62 *		8.10 ns		0.02 ns	

Diferencia significativa ( $P < 0.05$ ); ns= no significativo.

DMS= Diferencia mínima significativa.

Valor entre paréntesis corresponde a la desviación estándar.

### 3.2.5. Correlaciones

Los coeficientes de correlación entre la composición inicial del pasto (PC, lignina), DIVMS, solubilidad de la proteína y PC ligada a la FDN, con algunos parámetros de degradabilidad de la MS, PC y FDN se pueden observar en la Cuadro 9. En este caso la DIVMS y la PC ligada a la FDN están altamente correlacionadas con todos los parámetros de degradabilidad analizados. La degradabilidad inicial y potencial de la MS estuvieron altamente correlacionados con los parámetros de degradación de la FDN y con la Degradabilidad potencial de la PC.

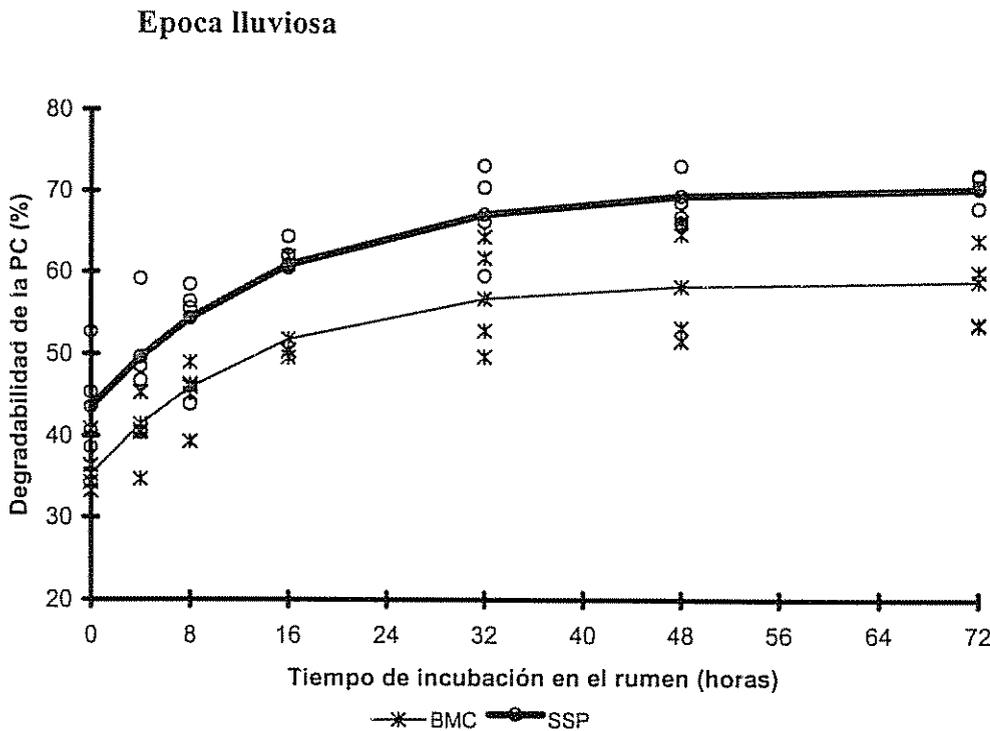
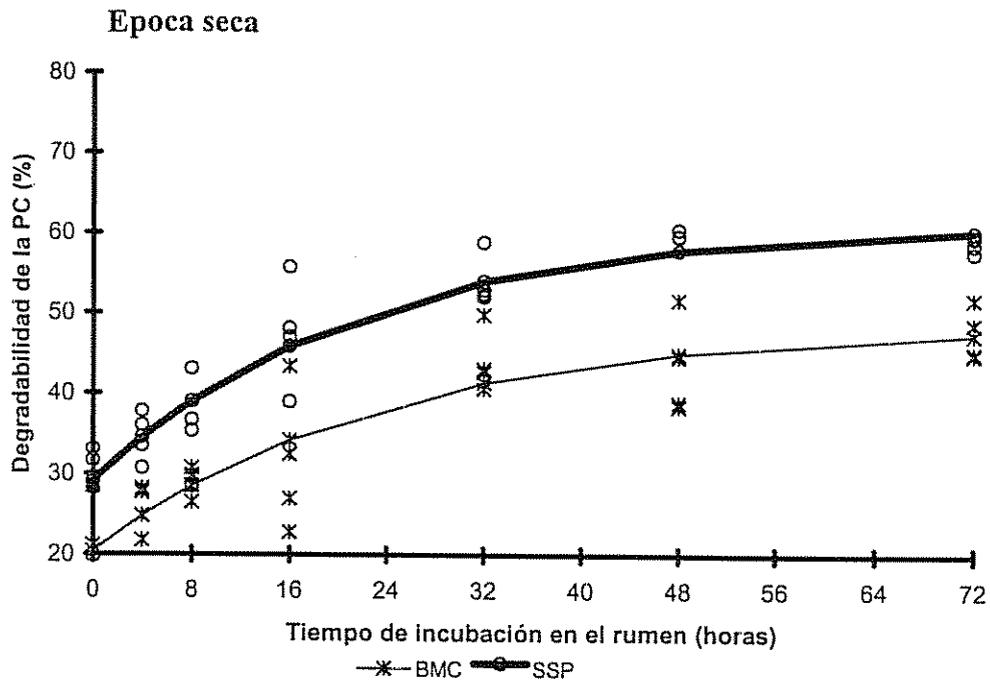


Figura 8. Degradabilidad ruminal de la PC de follaje de *Brachiaria humidicola* creciendo en un sistema silvopastoril con *Acacia mangium* (SSP) y en monocultivo (BMC) durante dos épocas.

Igualmente se encontraron correlaciones significativas entre la DIVMS y PC ( $r= 0.56$ ;  $P < 0.009$ ); solubilidad de la proteína ( $r= 0.64$ ;  $P < 0.002$ ) y con PC ligada a la FDN ( $r= -0.91$ ;  $P < 0.0001$ ). Además la Solubilidad de la PC estuvo correlacionada con los contenidos de lignina ( $r= -0.55$ ;  $P < 0.01$ ) y PC ( $r= 0.73$ ;  $P < 0.0002$ ) y con la PC ligada a la FDN ( $r= -0.69$ ;  $P < 0.0008$ ).

**Cuadro 9. Coeficientes de correlación entre composición nutricional de la *B. humidicola* y los parámetros de degradabilidad de la MS, PC y FDN.**

Var.	DI MS	B MS	DP MS	TD MS	DP FDN	TD FDN	L	DP PC
PC	0.65**	0.34 ns	0.56**	0.58**	0.52*	0.47*	-0.81**	0.71**
Lign.	-0.63**	-0.62**	-0.74**	-0.59**	-0.65**	-0.56**	0.32 ns	-0.49*
DIVMS	0.74**	0.73**	0.87**	0.79**	0.74*	0.67*	-0.47**	0.60**
SoluPC	0.74**	0.29ns	0.57**	0.40ns	0.49*	0.28ns	-0.71**	0.72**
PC-FDN	-0.82**	-0.62**	-0.83**	-0.71**	-0.76**	-0.54*	0.60**	-0.68**
DIMS		0.39ns	0.76**	0.61**	0.63**	0.53*	-0.76**	0.70**
DPMS				0.64**	0.94*	0.54*	-0.52*	0.59**

ns= no significativo; \*= significativo ( $P < 0.05$ ); \*\*= significativo ( $P < 0.01$ ).

La degradabilidad de la proteína fue correlacionada positivamente con la degradabilidad de la materia seca, en el SSP con acacia en la época seca ( $r: 0.98$ ;  $P < 0.0001$ ), SSP en época lluviosa y BMC época seca ( $r= 1$ ;  $P < 0.0001$ ) y BMC época lluviosa ( $r= 0.99$ ;  $P < 0.0001$ ). Igualmente se encontraron correlaciones positivas altamente significativas entre la degradabilidad de la MS y la degradabilidad de la FDN y entre la degradabilidad de la FDN y la degradabilidad de la PC ( $r= 0.99$ ;  $P < 0.0001$ ).

### 3.3. DISCUSION

En términos generales la *B. humidicola* presentó un valor nutritivo bajo, con valores de PC menores del 5%, DIVMS de 38 a 52% y altos contenidos de fibra, estos datos coinciden con los resultados reportados por otros autores en estudios conducidos bajo condiciones ecológicas similares (Lascano y Thomas, 1988; Mata, 1989; Nárvaez y Lascano, 1989; Díaz *et al.*, 1992; Pereira *et al.*, 1992; Santana *et al.*, 1993).

Aparentemente la baja calidad es inherente a esta especie, sin embargo, durante los últimos años se han encontrado algunas accesiones con mayores valores de DIVMS y PC (Vallejos, 1988; Ibrahim, 1994). En este trabajo se encontraron valores de fibra altos que junto con las altas concentraciones de lignina pueden explicar la baja DIVMS (Van Soest, 1981).

El mayor contenido de FDA en la época seca puede estar relacionado con la mayor cantidad de lignina y porcentaje de biomasa muerta (Bolívar, 1998) encontrados en esta época. El mayor porcentaje de FDN en BMC se debe al mayor contenido de hemicelulosa que se encontró en el pasto sin asociación ya que los contenidos de lignina y celulosa, aunque no presentaron diferencias significativas, tendieron a ser mayores en el SSP.

La DIVMS de *B. humidicola* fue superior en un 39% en la época lluviosa, en comparación con la época seca, lo cual puede ser explicado por la mayor relación hoja:tallo y una mayor proporción de material verde suculento encontrados en la época lluviosa (Bolívar, 1998), las cuales se caracterizan por tener una mayor DIVMS (Hacker, 1981; Rocha, 1981). Esto se soporta en los datos reportados en este estudio que muestran un mayor contenido de FDA y hemicelulosa durante la época seca.

La DIVMS de *B. humidicola* creciendo cerca del árbol fue mayor comparada con las zonas sin influencia de la copa. La mayor concentración de N del pasto bajo la copa, aparentemente promovió una mayor actividad biológica durante el proceso de fermentación ruminal (Mehrez *et al.*, 1977; Leng *et al.*, 1991).

La baja PC puede resultar una limitante para el consumo del pasto debido a que el valor crítico para que haya una eficiente actividad microbial es alrededor del 7% (Minson, 1992). La PC fue superior (en 45%) en el sistema silvopastoral con *A. mangium*, comparada con la obtenida en la *B. humidicola* a pleno sol, sin embargo, siempre fue menos de 7%. La concentración de PC estuvo altamente correlacionada ( $r=0.7$ ) con el contenido de N en el suelo (Bolívar, 1998), el cual fue mayor en el SSP. Un estudio realizado bajo diferentes condiciones edáficas y ecológicas en África, muestra que *Acacia mangium* tiene una buena capacidad de fijar N a través de relaciones simbióticas (Galiana *et al.*, 1998). Además los mayores contenidos de humedad (Bolívar, 1998) y materia orgánica en el suelo (Ibrahim sin publicar) en el SSP, posiblemente favoreció una mayor tasa de liberación de nutrientes.

La mayor concentración de PC bajo el árbol, concuerda con lo reportado por otros autores (Belsky, 1992; Carvalho *et al.*, 1994; Carvalho *et al.*, 1995) quienes trabajaron en suelos ácidos, de baja fertilidad. Es importante anotar que la intensidad de la respuesta depende de la especie.

Para estos sistemas la mezcla de *B. humidicola* con leguminosas herbáceas puede contribuir a mejorar la dieta seleccionada por los animales en pastoreo. Estudios realizados en suelos ácidos con *B. humidicola* asociada con *Arachis pintoi* y *Desmodium ovalifolium* encontraron niveles del 8.3% de PC, en contraste con los encontrados en la gramínea como monocultivo (3 a 4%) (Lascano y Thomas, 1988; Pereira *et al.*, 1992).

La PC ligada a la pared fue menor y la solubilidad de la proteína del pasto fue mayor bajo el SSP con *A. mangium*, indicando que las plantas que crecen bajo los árboles acumulan diferentes tipos de proteína. Esta diferencia puede estar relacionada con los mayores niveles de PC bajo el SSP, ya que se encontraron coeficientes de correlación de -0.61 y 0.73 entre el contenido de PC y la PC ligada a la pared y su solubilidad respectivamente. Los valores de solubilidad de la proteína estuvieron entre 52 y 59%, los cuales fueron superiores a los reportados para otros pastos tropicales. Se han reportado valores de 43.3 y 26.9% para *Brachiaria mutica* y *Panicum maximum*, respectivamente (por el método de Wohlt *et al.*,

1973) y de 31.6 y 33.8% para *Digitaria decumbens* (pangola) de 22 y 47 días de rebrote (utilizando una solución buffer de borato fosfato) (All, 1980; Aumont, *et al.*, 1994).

La mayor solubilidad de la PC encontrada en la época lluviosa puede estar relacionada con los menores contenidos de lignina y proteína ligada a la pared encontrados en esta época, pues se determinó una correlación negativa ( $r$ : -0.55 y -0.69) entre estos y la solubilidad de la proteína.

La degradación de la fracción soluble y potencialmente degradable fueron mayores para el follaje de *B. humidicola* bajo el árbol y en la época lluviosa, comparada con las obtenidas a pleno sol y en la época seca; estos resultados están relacionados con la mayor solubilidad de la PC encontradas en la época lluviosa y en el SSP. Diferentes autores reportan una estrecha relación entre la solubilidad de la PC y su degradabilidad (Buttery, 1976; All y Stobbs, 1980). La mayor solubilidad y degradabilidad de la PC están asociadas, en general, con un mayor nivel de amonio en el rumen y este puede contribuir en el incremento de la actividad microbiana a nivel ruminal, maximizando el consumo de dietas altas en fibra (Mehrez *et al.*, 1977; Leng *et al.*, 1991). Este es un efecto benéfico de los árboles considerando la baja PC y la alta fibra de esta especie. Preston y Leng (1989) consideran que en dietas fibrosas los niveles amoniacaes en el rumen deben estar por encima de 50 mg/l y que por debajo de ese valor limita la síntesis proteica. En la *B. humidicola* con valores de PC de 6.4% se ha encontrado un bajo nivel de amonio (32.6 mg/l de  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) valor crítico para la digestión y síntesis de la proteína microbiana (Hess *et al.*, 1992).

La degradación inicial y potencial y la tasa de degradación de la MS y FDN fueron superiores en la época lluviosa; estas diferencias pueden estar relacionadas con los mismos factores que afectan la digestibilidad, discutidos anteriormente. La degradación de *B. humidicola* sigue una tendencia de incremento después de 72 horas, indicando que el tiempo de incubación no fue adecuada para determinar el potencial de degradación. Esto puede ser explicado por los altos contenidos de fibra (FDA y FDN) encontrados en este pasto. Estrada (1997) reporta valores de degradabilidad potencial de la MS y la FDN de 72

y 55%, respectivamente, para el pasto *Hyparrhenia rufa*, con altos contenidos de fibra, después de 128 horas de incubación.

La degradabilidad de la MS y la pared de *B. humidicola* no variaron mucho entre el SSP y a pleno sol, debido probablemente a que no se encontraron muchas diferencias en la DIVMS y contenido de fibra entre los dos sistemas. El mayor efecto de los árboles fue sobre la degradabilidad inicial de la MS, la cual fue 19% superior en el SSP; esto puede estar relacionado con la mayor solubilidad y degradabilidad de la PC en este sistema, discutido anteriormente. Esto tiene soporte en las altas correlaciones positivas encontradas entre la degradabilidad de la MS y la degradabilidad de la PC, coincidiendo con las reportadas por otros autores, 0.92 (Aumont, *et al.*, 1994); 0.99 (Zhao, *et al.*, 1993).

### 3.4. CONCLUSIONES

1. La *Brachiaria humidicola* presentó un mayor valor nutritivo en la época lluviosa, en términos de mayor contenido de PC, DIVMS, solubilidad de la PC, menor contenido de fibra y porcentaje de PC ligada a la pared.
2. El pasto creciendo bajo el SSP con *Acacia mangium* acumuló diferentes tipos de proteína en comparación con la que creció a pleno sol, presentando mayor solubilidad de la PC y menos PC ligada a la pared.
3. La degradabilidad potencial de la PC de *B. humidicola* fue mayor en el SSP; este es un efecto importante de los árboles, ya que ésta contribuye a incrementar la actividad microbiana en el rumen la cual es fundamental para mejorar el consumo de las dietas alta en fibra, como lo es este pasto.

### 3.5. LITERATURA CITADA

- ALL, T. and STOBBS, T.H. 1980. Solubility of the protein of protein of tropical pasture species and the rate of its digestion in the rumen. *Animal Feed Science and Technology* 5: 183-192.
- AUMONT, G; SAMINADIN, G; CERNEAU, P; XANDE, A. 1994. Effects of sample preparation on nitrogen degradability of pangola grass (*Digitaria decumbens*) and tropical tree legumes. *Journal of Agricultural Science* 123: 47-54.
- 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 gramineous forage in tropical savannas. *Tropical Grasslands* 26: 12-20.
- BELSKY, A. J.; MWONGA, S. M.; DUXBURY, J. M. 1993. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas. *Agroforestry systems* 24: 1-20
- BOLIVAR, V. D. 1998. Contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., CATIE.
- 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.
- BUSTAMANTE, J. 1991. Evaluación de comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.
- BUTTERY, P.J., 1976. Protein synthesis in the rumen: Its implication in the feeding of non-protein nitrogen to ruminants. *In Principles of Cattle Production*. Ed Henry Swan and W.H. Broster, London, 145-168 p.
- 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* Vol 23 (5): 709-719.
- CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. P.; ANDRADE, A. C. 1995. Cescimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). *Pasturas Tropicales* 17 (1): 24-30.

- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA.  
Departamento de Recursos Naturales Renovables. 1986. Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central: resultados de cinco años de investigación. CATIE Serie técnica Informe técnico No 86 228 p.
- \_\_\_\_\_. 1987. Resumen de datos meteorológicos. Turrialba, Costa Rica. 1p.
- \_\_\_\_\_. 1992 Mangium, *Acacia mangium* Willd. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE Serie técnica Informe Técnico No 196 56 p
- DACCARETT, M. y BLYNDESTEIN, J. 1968. La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos sobre el follaje que crece bajo ellos, Turrialba 18(4): 405-408
- DIAZ, N.L.; VASQUEZ, A.T. 1992. Efecto de la dosis de nitrógeno y la edad en el rendimiento, tasa de acumulación de materia seca y en valor nutricional del pasto *Brachiaria humidicola*. Zootecnia Tropical 10 (1): 65-85.
- ESPINOZA, A., J. 1983. Consumo y parámetros de digestión en rastrojos de maíz cultivado solo o en asocio con leguminosas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 71 p.
- ESTRADA, G.X. 1997. Efecto de la sustitución del King Grass (*Pennisetum purpureum*\**Pennisetum typhoides*) por Morera (*Morus sp*) sobre los parámetros de degradación y fermentación ruminal de cuatro forrajes de calidad contrastante. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 65 p.
- 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.
- HESS, D.; LASCANO, C. E. ; PLAZAS, C. 1992. Niveles de amonio ruminal en novillos que pastorean gramíneas solas o asociadas con leguminosas de calidad nutritiva contrastante. Pasturas Tropicales 14(3): 9-13.
- HOLDRIDGE, S. J . 1978. Ecología basada en zonas de vida. Instituto interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 206 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.
- KRISHNAMOORTHY, U.; MUSCATO, T. V.; SNIFFEN, C. J.; VAN SOEST, P. J. 1982. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. Journal of Dairy Science. 65: 217.
- KUEHL,, R.O. 1994. Repeated Measures Designs. In Statistical Principles of Research Design and Analysis. 2 ed. California, U.S.A., Duxbury Press. P. 499-528.

- 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.
- LENG, R.A. 1991. Application of biotechnology to nutrition of animals in developing countries. Roma, FAO. 145 p.
- MATA, D.P. 1989. Rendimiento y composición química de seis gramíneas introducidas en una sabana del sureste del estado Guarico. Zootecnia Tropical Vol 12(1y 2): 69-89.
- MEDINA, R. Y. 1980. Tasa de digestión y digestibilidad potencial ruminal de materiales fibrosos en función de niveles de almidón suplementario. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 69 p.
- MEHREZ, A.Z.; ORSKOV, E.R.; MCDONALD, Y. 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. British Journal of Nutrition 38:437.
- MINSON, D.J. 1990. Forage in ruminant nutrition. San Diego, California, Academic Press, Inc. 483 p.
- NARVÁEZ, N; LASCANO, C. 1989. Digestibilidad in vitro de especies forrajeras tropicales. 1. Comparación de métodos de determinación. Pasturas Tropicales 11(1): 13-18.
- ORSKOV, E.R.; HOVELL, R.O.; MOULD, F. 1980. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. Producción Animal Tropical (R.D.) 5(3): 213-233.
- \_\_\_\_\_ 1982. Protein nutrition in ruminants. Academia Press Inc. London. 160 p.
- PARRA, A.; COMBELLAS, J; DIXON, R. 1984. Rumen degradability of some tropical stuffs. Tropical Animal Production. 9: 196-199.
- PEREIRA, J.M.; NASCIMENTO, D.J.; SANTANA, J.R. CANTARUTTI, R.B.; LEO, M.I. 1992. Teor de proteína bruta e digestibilidade "in vitro" da matéria seca da forragem disponível e da dieta selecionada por bovinos em pastagem de *Brachiaria humidicola*(Rendle) Schweickt, em monocultivo ou consorciado com leguminosas, submetida a diferentes taxas de lotacao. Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia 21(1): 104-116.
- PRESTON, T.R.; LENG, R. 1989. Adecuando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. Cali, Colombia, CONDRIT. 312 p.
- ROCHA, P.G.; VERA, R.R. 1981. Structural carbohydrates, protein and *in vitro* digestibility of 8 tropical grasses. Turrialba 32 (1): 15-20.

- ROMERO, F. 1990. Utilización de la técnica de digestión *in situ* para la caracterización nutritiva de forrajes. In Nutrición de rumiantes, guía metodológica de investigación. Manuel Ruiz y Arnoldo Ruiz, eds. San José, Costa Rica, IICA. p. 105-114.
- SANCHEZ, R. D. 1994. Efecto de la rotación de cultivos agrícolas y pastos en *Acacia mangium* y la influencia de estos en la dinámica de nutrientes del suelo. In Seminario Técnico *Acacia mangium*, comportamiento y potencial en Panamá (1., 1994, Panamá). Resúmenes. Panamá. p 91.
- SANTANA, J.R.; PEREIRA, J. M.; MORERO, M.A. Y 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.
- STEEL, R. D. G.; TORRIE, J. C. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 2ª ed. Trad. Por Ricardo Martínez. México, McGraw-Hill. 622 p.
- TILLEY, J. y TERRY, K. 1963. A two stages techniques for the in vitro digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society (G.B.) 18(2): 131-163.
- VALLEJOS, A.A. 1988. Caracterización y evaluación agronómica y preliminar de accesiones de *Brachiaria* y *Panicum* en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 126 p.
- VAN SOEST, P. y ROBERTSON, J. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. Cornell University (N.Y., EE. UU.). Laboratory Manual for Animal Science Nº 613. 165 p.
- WILSON, J. R.; WONG, C. C. 1982. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of Green Panic and Siratro pastures. Australian Journal of Agricultural Research (Australia) 33:937-949.
- WOHLT, J. E.; SNIFFEN; C.J.; HOOVER; W.H. 1973. Measurement of protein solubility in common feedstuffs. Journal Dairy Science. 56: 1052-1057.
- ZHAO, J.Y.; MASATAKA, S; GOTO, I. 1993. The effects of feeding level and roughage/concentrate ratio on the measurement of protein degradability of two tropical forages in the rumen of goats, using the nylon bag technique. Animal Feed Science and Technology 41: 261-269.

## ARTICULO 3

### PRODUCCION DE *Brachiaria humidicola* BAJO UN SISTEMA SILVOPASTORIL CON *Acacia mangium* EN EL TROPICO HUMEDO

**Palabras Claves:** Materia seca, Biomasa Muerta, Radiación solar, Relación hoja tallo, Suelo ácido.

#### **4.1. Introducción**

Las pasturas de América Tropical están establecidas en su mayoría en Oxisoles y Ultisoles, caracterizados por su acidez y baja fertilidad. La escasez de germoplasma adaptado a esas condiciones y el manejo inadecuado de las pasturas, son los principales factores condicionantes de la baja productividad en esos ecosistemas. Durante los últimos años se han evaluado gramíneas y leguminosas que se adapten a estas condiciones, encontrando que algunas especies de *Brachiaria* han mostrado un alto potencial productivo en este ecosistema, entre ellas *Brachiaria humidicola* (CIAT, 1984).

Esta especie presenta buena adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad (o cuando hay pocas posibilidades de hacer uso de muchos insumos), pues bajo esas condiciones son capaces de manifestar adecuada velocidad de rebrote, mantener buena composición botánica y proporcionar una aceptable producción animal (Salinas y Gualdrón, 1982; Machado y Nuñez, 1991). Además tolera la sequía con producción de materia seca en la época de baja precipitación, correspondiente a un 30-40% de la producción total anual (Terherbilcock y Montoya, 1980; Tergas, 1981).

La introducción de árboles en las pasturas pueden crear condiciones favorables mediante el aporte de materia orgánica, el ciclaje de nutrientes, el mejoramiento del contenido de humedad en el suelo y la disminución de la temperatura (Serrao, 1991; Belsky, 1992; Cooperband, 1992; Wilson, 1996). Sin embargo, esto depende de la densidad, altura, arquitectura y fenología propia de la especie arbórea.

Las pasturas tropicales del tipo metabólico C<sub>4</sub> alcanzan su máxima producción con niveles altos de intensidad lumínica, por lo tanto, considerando solamente la intersección de la radiación solar, se espera que resulte en una reducción en la tasa de producción, en comparación con potreros abiertos (Giraldo y Vélez, 1993). Sin embargo, algunos autores han reportado aumentos en la disponibilidad del forraje cuando estos están asociados con árboles (Lowry *et al.*, 1988; Wilson *et al.*, 1990; Libreros, *et al.*, 1990; Bustamante, 1991) estos aumentos en la mayoría de los casos se han obtenido en condiciones de sombreamiento moderado (30-40%) y donde el nivel de nitrógeno en el suelo es bajo. En esas condiciones se ha observado mayor concentración de N en el área sombreada (Eriksen e Whitney, 1981; Wilson, *et al.*, 1990; Belsky, 1993) situación que sugiere un aumento en la disponibilidad de N para las gramíneas.

Las plantas que crecen bajo condiciones de sombra sufren cambios morfológicos como mecanismo de adaptación a la baja intensidad de luz. Esta adaptación incluye un mayor índice de área foliar, mejor distribución del área foliar en altura, coeficientes de extinción de luz más bajos y una reducción en la tasa respiratoria (Trembath, 1974; Wong y Wilson, 1980). El sombreamiento también puede afectar la cantidad de material muerto en las pasturas (Mesquita *et al.*, 1994).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto que tiene la *Acacia mangium*, (leguminosa adaptada a suelos ácidos y que recientemente está siendo manejada en SSP) sobre la producción de materia seca, relación hoja:tallo (H:T) y porcentaje de biomasa muerta (BM) de *Brachiaria humidicola*, el contenido de humedad en el suelo y la transmisión de radiación a través de este componente arbóreo a la pastura.

## 4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.2.1. Localización

El estudio se realizó en la Estación Experimental de Calabacito, ubicada en la Provincia de Veraguas, Panamá descrita por Bolívar (1998). La *Acacia mangium* fue sembrada en agosto de 1994, a una distancia de 3 m entre árboles y 8 m entre hileras. La dirección de la hilera de árboles es 50° Sureste, con una altura promedio de 11 m. Para determinar la relación H : T y el porcentaje de BM de *B. humidicola* como monocultivo (BMC) y bajo un sistema silvopastoril con *Acacia mangium* (SSP) se utilizaron parcelas de 18 m<sup>2</sup>, escogidas al azar en un área de 3 ha. En las parcelas con acacia esta área correspondió a cuatro árboles con 1 m de distancia a cada lado, donde hay una alta influencia de la copa.

Para la estimación de la producción de materia seca (MS), la radiación fotosintéticamente activa (RAFA), el contenido de humedad en el suelo, la relación H : T y porcentaje de BM a diferentes distancias del árbol (1, 2.5 y 4 m), el tamaño de las parcelas fue de 72 m<sup>2</sup>, compuesta por cuatro árboles y 4 m a cada lado de éstos. Para comparar la producción de MS, la RAFA y la humedad entre el SSP y BMC se promedió de los datos obtenidos en las tres distancias.

Todas las parcelas fueron pastoreadas con una misma carga animal (2 UA/ha en la época lluviosa y de 1 UA/ha en la época seca) y con un ciclo de pastoreo de 27 días (tres de ocupación y 24 de descanso). Las muestras de pasto y la medición de la producción se realizó a los 24 días de rebrote.

### 4.2.2. Diseño Experimental

Para evaluar el porcentaje de BM y la relación H:T de *B. humidicola* sola y asociada con *A. mangium* en las diferentes épocas, se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió al tipo de sistema (S) y la subparcela estuvo a la época (E). El factor S constó de dos niveles (*B. humidicola* como monocultivo (BMN) y un sistema silvopastoril con acacia (SSP), al igual que el factor E (época seca y época lluviosa). Cada tratamiento contó con cinco repeticiones.. Para el

análisis de RAFA se utilizó un diseño de parcelas divididas en el tiempo, donde las parcela grande estuvo constituida por el tipo de sistema y las parcela pequeña por las cuatro fechas de medición.

El mismo diseño fue utilizado para evaluar el efecto de la *Acacia mangium* sobre el porcentaje de BM y la relación H:T de *B. humidicola* a diferentes distancias del árbol. Las parcelas grandes fueron las distancias al árbol (D), y las subparcelas las épocas (E). El factor D constó de tres niveles (1, 2.5 y 4 m del árbol), el factor E constó de dos niveles (época seca y época lluviosa). Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones. Un diseño similar se utilizó para detectar la variación espacial de la RAFA en el SSP, pero la subparcela estuvo constituida por las cuatro fechas de medición.

Para evaluar la producción de MS de *B. humidicola*, en los diferentes sistemas y distancias del árbol, en los cuatro cortes, se utilizó un diseño de sub-subparcelas, con distancia anidado en tipo de sistema. Las parcelas grandes estuvieron constituidas por el tipo de sistema (BMC y SSP), las sub-parcelas por las distancias (1, 2.5 y 4m) y las sub-subparcelas por los cuatro cortes (febrero, abril, junio y julio).

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 hicieron comparaciones entre 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 éstas no fueron aleatorizadas.

Los coeficientes de correlación de Pearson se hallaron utilizando el procedimiento estadístico PROC CORR de SAS (1985).

#### **4.2.3. Variables de respuesta**

##### **4.2.3.1. Producción de materia seca**

Para determinar la producción de materia seca de *B. humidicola*, se realizaron mediciones en cuatro ciclos, el primero en febrero de 1998, correspondiente a la época seca; el segundo en abril del mismo año, al inicio del período lluvioso y en los meses de junio y julio, con mayor precipitación. La producción se midió en cuatro sitios al azar, dos a cada lado de la hilera, en cada una de las distancias. La cosecha se realizó con tijeras a 10 cm del suelo, luego de 24 días de rebrote, utilizando un marco de 0.25 m<sup>2</sup>. Se pesó la biomasa verde total, de la cual se separó una submuestra y se secó en un horno a 65 °C durante 48 horas, previamente pesadas, al cabo de este tiempo se pesaron nuevamente para estimar la producción de materia seca en cada corte. No se estimó producción anual debido que no se midió el rechazo después de cada ciclo de pastoreo.

##### **4.2.3.2. Relación Hoja:tallo y porcentaje de biomasa muerta**

Se realizaron dos muestreos para determinar el porcentaje de BM y la relación H:T, el primero en febrero de 1998, coincidiendo con la época de mayor sequía y el segundo a finales de julio, correspondiendo con la época lluviosa. Las muestras estuvieron conformadas por 16 submuestras tomadas a lo largo de los árboles a ambos lados a 1 m; igualmente se hizo para las distancias de 2.5 y 4 m. En las parcelas sin árboles se tomaron ocho submuestras al azar para cada muestra.

Una vez cosechado el pasto de todas las parcelas, se tomó una submuestra de 500 g de la cual se fraccionaron hojas, tallos verdes y biomasa muerta. Se secaron las muestras en un

horno a 65 °C durante dos días y se pesaron posteriormente para cuantificar la relación Hoja:Tallo y el porcentaje de biomasa muerta.

#### **4.3.2.3. Radiación fotosintéticamente activa (RAFA)**

Las mediciones de RAFA se realizaron en los mismos períodos en que se realizaron las de producción de materia seca. Se utilizó un ceptómetro (Decagon Devices Inc., Pullman, Wa, EE.UU.). Este permite medir la radiación activa para la fotosíntesis en términos de densidad del flujo fotosintético de fotones (PPFD). En las parcelas con acacia se tomaron a lo largo de los trayectos distanciados a 1, 2.5 y 4 m del árbol mientras que en las parcelas pleno sol, se hizo en diferentes puntos al azar. También se midió la cantidad de radiación reflejada y transmitida por el pasto para calcular la radiación interceptada.

### **4.3. RESULTADOS**

#### **4.3.1. Relación Hoja:Tallo y Biomasa Muerta**

El análisis de varianza detectó efectos significativos ( $P < 0.01$ ) de la época sobre la relación H:T, la cual fue superior en la época lluviosa y sobre el % de BM que fue mayor en la época seca (Figura 9). Se encontró diferencia significativa entre sistemas ( $P < 0.01$ ), siendo mayor en la BMC. No se detectó diferencia significativa para la relación H:T entre los sistemas, aunque fue superior en el SSP en 5.7%. Con respecto a las diferentes distancias no se encontraron diferencias significativas para ninguna de las dos variables, aunque la relación H:T tendió a ser superior a 1 m (1.2, 1.1 y 1.1, para 1, 2.5 y 4 m respectivamente); la BM tendió a ser mayor a 4 m del árbol (31.1, 31.8 y 36.8 respectivamente).

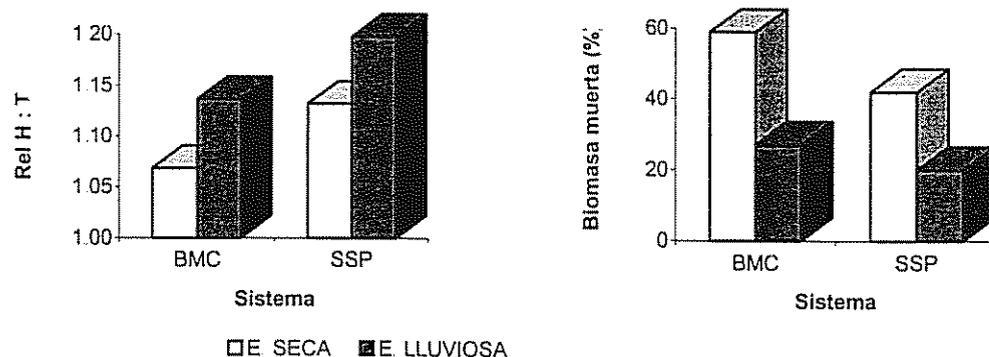


Figura 9. Relación hoja:tallo y porcentaje de biomasa muerta de *Brachiaria humidicola* creciendo a pleno sol (BMC) y en asocio con *Acacia mangium* (SSP) durante la época seca y la lluviosa.

#### 4.3.2. Radiación fotosintéticamente activa, humedad en el suelo y producción de materia seca de *B. humidicola*

Hubo diferencias significativas tanto, entre sistemas como entre ciclos, para la cantidad de RAFA, humedad en el suelo y producción de MS. La RAFA fue superior ( $P < 0.0001$ ) en la BMC, mientras que la producción de MS ( $P < 0.01$ ), y el contenido de humedad en el suelo ( $P < 0.0001$ ), fueron superiores en el SSP. En cuanto a los diferentes ciclos, la producción más baja se obtuvo en el mes de febrero y la más alta en abril, mientras que en junio y julio fueron similares. La radiación fue superior en los meses de junio y julio, la inferior en febrero (en abril fue intermedia). La humedad en el suelo se comportó en forma ascendente siendo más baja en febrero y la más alta en julio (Cuadro 10, Figura 10).

Para las distancias hubo diferencia significativa ( $P < 0.0001$ ) para los valores de RAFA que fueron inferiores a 1 m y superiores a 4 m, de distancia del árbol (Figura 11), mostrando interacciones significativas con las diferentes fechas. No se encontraron diferencias para la humedad y producción de materia seca, aunque estas tendieron a ser mayores a 1 m (Cuadro 11).

Cuadro 10. RAFA, contenido de humedad en el suelo y producción de MS de *B. humidicola* bajo un sistema silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y bajo *B. humidicola* como monocultivo (BMC).

SISTEMA	RAFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ )		HUMEDAD (%)		PRODUCCION kg MS ha <sup>-1</sup> ciclo <sup>-1</sup>	
	SSP	1397	(275)	24	(3.47)	2562
BMC	1950	(292)	22	(4.55)	1834	(864)
DMS	69.9 **		0.6 **		524 **	

\*\*Diferencia mínima significativa (P < 0.01).

Valor entre paréntesis corresponde a las desviación estándar.

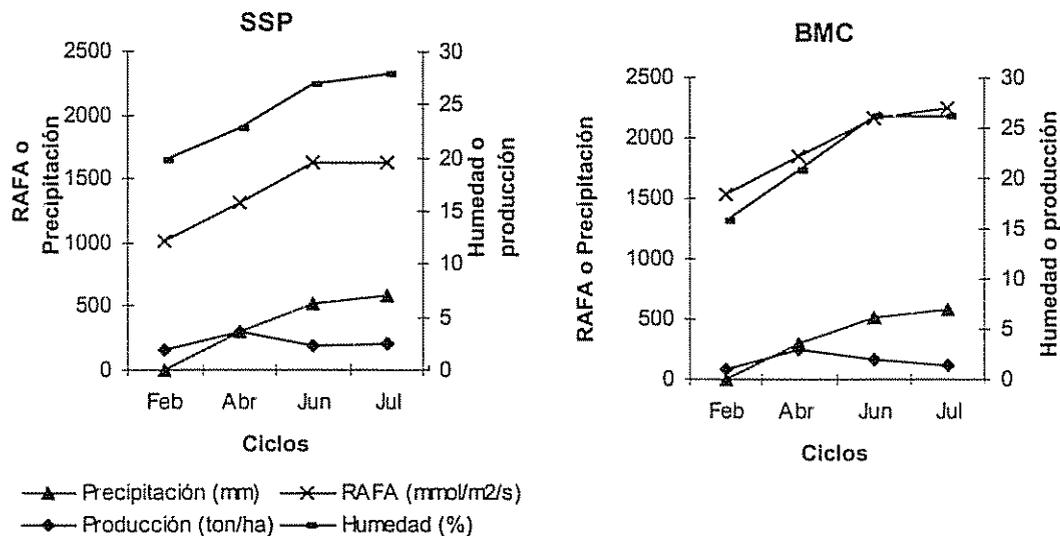
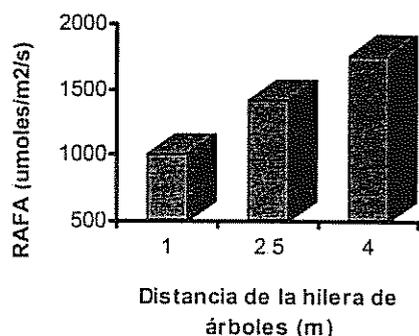


Figura 10. Precipitación, RAFA, contenido de humedad en el suelo y producción de MS de *B. humidicola* bajo un sistema silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y bajo *B. humidicola* como monocultivo (BMC) en los diferentes ciclos.



**Figura 11. Radiación fotosintéticamente activa incidente sobre la pastura a diferentes distancias de la hilera de árboles.**

El balance de radiación (Cuadro 12) mostró que la radiación absorbida por el pasto fue menor en el SSP. La cobertura arbórea redujo la RAFA en 35%. No se encontraron correlaciones significativas entre producción de MS y RAFA.

**Cuadro 11. RAFA, contenido de humedad en el suelo y producción de MS de *B. humidicola* en las diferentes distancias de la hilera de árboles de *A. mangium*.**

VARIABLES	DISTANCIA			
	D1 (1m)	D2 (2.5m)	D3 (4m)	DMS
RAFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	1008 (267)	1415 (309)	1765 (279)	123.7 **
HUMEDAD (%)	24.5 (3.84)	24.3 (3.41)	24.2 (3.22)	0.417
PRODUCCION ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	2683 (827)	2577 (754)	2425 (1023)	662

\*\* Diferencia mínima significativa ( $P < 0.01$ ).

Valor dentro de los paréntesis corresponde a las desviación estándar.

**Cuadro 12. Balance de RAFA en un sistema silvopastoril con *A. mangium* (SSP) y en *B. humidicola* como monocultivo (BMC).**

RAFA ( $\mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	SISTEMA	
	SSP	BMC
Radiación incidente en el pasto ( $R_i$ )	1353	2101
Radiación reflejada por el pasto ( $R_r$ )	60	80
Radiación transmitida al suelo ( $R_t$ )	351	610
Radiación absorbida por el pasto * ( $R_a$ )	942	1411

\* ( $R_a$ ) = ( $R_i$ ) - ( $R_r$ ) - ( $R_t$ )

#### 4.4. DISCUSION

Los mayores porcentajes de BM de *B. humidicola* encontrados en la época seca y en el sistema sin árboles se deben posiblemente a, las mayores temperaturas registradas en ambientes no sombreados (Wilson, 1996; Zelada, 1996), menor contenido de humedad en el suelo y mayor radiación incidente sobre el pasto en el sistema BMC. Estos resultados coinciden con los reportados por Mesquita *et al.* (1994), quienes reportan una mayor proporción de BM en una pastura de *B. brizantha* a pleno sol, comparada con la encontrada bajo la copa de diversos árboles. Este es un efecto benéfico de los árboles, ya que la BM es de baja calidad, afectando el contenido de PC y DIVMS del forraje producido.

Los valores para la relación hoja: tallo estuvieron entre 1.1 y 1.2, coincidiendo con los reportados por Vallejos *et al.* (1989) para esta especie y con Vallejos (1988), quien evaluó 10 especies de *Brachiaria* y encontró que el 80% de los valores estuvieron entre 0.75 y 1.25, siendo el promedio de 1.1. Dicha relación fue superior en la época lluviosa, pero no hubo diferencia significativa entre sistemas, aunque fue superior en 5.7% en el SSP. Diferentes autores intensa (Wong y Wilson, 1980; Eriksen y Whitney, 1981; Mesquita, *et al.*, 1994, Zelada, 1996) reportan mayor contenido de hojas en las gramíneas creciendo bajo la copa de los árboles o con sombra artificial cuando la reducción en la radiación solar no es demasiado, como un mecanismo de adaptación al sombreadamiento, aunque esta respuesta fisiológica depende de la especie. Por el contrario Bustamante (1991) reporta una relación hoja:tallo más estrecha cuando la *B. humidicola* se asoció con *E. poeppigiana* encontrando valores de 4.6 y 7.6 con y sin árboles respectivamente, probablemente debido a que el estudio se realizó en suelos de alta fertilidad.

La cantidad de RAFA fue inferior en el SSP y aumentó en forma significativa a medida que se aleja de la hilera de los árboles, sin embargo es importante anotar que en ambos sistemas llega una cantidad importante de radiación al suelo, mostrando esto que la radiación no fue un factor limitante para la producción de pasto. Esto se confirma con la mayor producción de MS en el SSP, a pesar de que la *B. humidicola*, como especie C<sub>4</sub> es exigente en cantidad de luz. Además, no se encontró correlación entre la cantidad de RAFA y la producción. La

mayor disponibilidad de forraje en el SSP se debe a los mayores contenidos de humedad, N y P en el suelo bajo *A. mangium* (Bolívar, sin publicar). No se encontraron diferencias significativas en las diferentes distancias del árbol, aunque tendió a ser mayor a 1 m, probablemente debido a los altos CV que se registraron (30.8, 29.2 y 42% para 1, 2.5 y 4 m respectivamente). Se ha reportado un aumento en el 17% en la producción de *B. humidicola* cuando esta se asoció con *Erythrina poeppigiana*, en comparación con la obtenida a pleno sol (Bustamante, 1991).

La producción de MS estuvo entre 1678 y 3430 kg/ha, dependiendo de la época y el sistema, coincidiendo con la reportada en otros estudios (Mata, 1989; Navarro *et al.*, 1992; Santana *et al.*, 1993) realizados en suelos ácidos de baja fertilidad.

La producción de pasto varió significativamente en función del ciclo, siendo importante anotar que la producción más baja coincidió con la época más seca, siendo más crítico en el sistema BMC debido posiblemente al menor contenido de humedad en el suelo. Sin embargo, la mayor producción no coincidió con la época de mayor precipitación y mayor contenido de humedad en el suelo. La mayor producción se dio al inicio de la época lluviosa debido al receso en el crecimiento que se dio durante los meses secos y posiblemente a la acumulación de nutrientes que se dio en esta época. Diferentes autores reportan una mayor descomposición de la materia orgánica cuando ha sufrido un período de sequía y posteriormente es humedecida, en comparación a la que se da cuando siempre está bajo las mismas condiciones de humedad (Amato, *et al.*, 1984; Sorensen, 1974), esto posiblemente fue lo que sucedió al inicio de las lluvias, estimulando la producción. Además en los meses de alta precipitación se puede saturar el suelo de humedad y verse afectada la producción, ya que se ha reportado que la *B. humidicola*, no soporta el encharcamiento (Terherbilcock y Montoya, 1980). Un comportamiento similar en función de las lluvias fue reportado por Da Silva *et al.*, (1992).

#### 4.5. CONCLUSIONES

1. La época afectó la calidad de *B. humidicola* expresada en términos de relación H:T, la cual fue mayor en época lluviosa y porcentaje de BM (mayor en época seca).
2. El pasto que creció en presencia de *A. mangium* presentó 28% menos de biomasa muerta, lo cual puede mejorar la calidad de la pastura.
3. La cantidad de RAFA incidente sobre la *B. humidicola* en el SSP fue significativamente inferior comparada a la que se presenta en la BMC, pero este factor no fue limitante para la producción de la pastura en esta zona de estudio.
4. El contenido de humedad en el suelo y la producción de MS de *B. humidicola* fueron superiores en el SSP con *A. mangium*.

#### 4.6. LITERATURA CITADA

- AMATO, M.; JACKSON, R.B.; BUTLER, J.H.A.; LADD, J.N. 1984. Decomposition of Plant Material in Australian Soils II. Residual Organic <sup>14</sup>C and <sup>15</sup>N from Legume Plant Parts Decomposing under Field and Laboratory Conditions. Australian Journal Soil Research 22: 331-341.
- BELSKY, A.J. 1992. Effects of trees on nutritional quality of understory gramineous forage in tropical savannas. Tropical Grasslands 26: 12-20.
- BELSKY, A. J.; MWONGA, S. M.; DUXBURY, J. M. 1993. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas. Agroforestry systems 24: 1-20.
- BOLIVAR, V. D. 1998. Contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- BUSTAMANTE, J. 1991. Evaluación de comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 131 p.

- COOPERBAND, L. 1992. Soil phosphorus dynamics in a Humid Tropical silvopastoral system. PhD. Thesis, Ohio, Ohio State University, U.S. 400 p.
- DA SILVA, S. F.; 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.
- ERKSEN, F. I.; Whitney, A, S . 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical foragew species. 1. Interaction of light intensity and nitrogen fertilisation on six forage grasses. *Agronomy Journal* 73: 427-433.
- GIRALDO, L. A.; VELEZ, G. 1993. El componente animal en los sistemas silvopastoriles. *Industrias & Producción Agropecuaria. Azoodea* 1 (3): 27-31.
- KUEHL,, R.O. 1994. Repeated Measures Designs. *In: Statiscal Principles of Research Design and Analysis*. 2 ed. California, U.S.A., Duxbury Press. p. 499-528.
- LIBREROS, J.H.F. 1990. Efecto de depositar en el suelo material de poda de poró (*Erythrina poeppigiana*) sobre la producción y calidad de la biomasa del King grass (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*) establecido en asocio.
- 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.
- MATA, D.P. 1989. Rendimiento y composición química de seis gramíneas introducidas en una sabana del sureste del estado Guarico. *Zootecnia Tropical* 12 (1y 2): 69-89.
- MESQUITA, M.; DE PAULA, V.; SETTE, D.; E DE ASSIS H. 1994. Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral de forragem em pastagens de Braquiaria. *Revista da sociedade Brasileira de Zootecnia* 23(5): 709-718.
- NAVARRO, D.L.; VASQUEZ, D.; TORRES, ANIBAL. 1992. Efecto de la dosis de nitrógeno y la edad en el rendimiento, tasa de acumulación de materia seca y en el valor nutricional del pasto *Brachiaria humidicola*. *Zootecnia Tropical* 10 (1): 65-85.
- SALINAS, J. G.; GUALDRON, R. 1982. Adaptación y requerimientos de fertilización de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt en la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia. Cali, Col., CIAT. 21 p.
- SAS INSTITUTE INC. 1985. SAS user's guide: Statistics. Cary, EE.UU., SAS Institute Inc. 629 p.

- SANTANA, J.R.; PEREIRA, J. M.; MORERO, M.A. Y 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.
- 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.
- SORENSEN, L.H. 1974. Rate of decomposition of organic matter in soil as influenced by repeated air drying-rewetting and repeated additions of organic material. *Soil Biological Biochemistry* 6: 287-292.
- STEEL, R. D. G.; TORRIE, J. C. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 2<sup>a</sup> 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, Boletín Informativo* (Col.) 4: 12-13.
- TERHEEBILCOCK, P. E.; MONTOYA, H. J. A. 1980. Concentración de nitratos en *Brachiaria sp.* Y su relación con la metahemoglobinemia bovina en fincas ganaderas de Córdoba. *Revista ICA* (Colombia) 15: 11-16.
- VALLEJOS, A. A. 1988. Caracterización y evaluación agronómica preliminar de accesiones de *Brachiaria* y *Panicum* en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 126 p.
- VALLEJOS A.; PIZARRO, E. A.; CHÁCEZ, C.; PEZO D.; FERREIRA, P. 1989. Evaluación agronómica de gramíneas en Guapiles, Costa Rica.1. Ecotipos de *Brachiaria*. *Pasturas Tropicales* 11(2): 2-9.
- WILSON, J. R.; HILL, K.; CAMERON, D. M.; SHELTON, H. M. 1990. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. *Tropical Grasslands* 24 (1): 24-28.
- 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.
- ZELADA, S. E. 1996. Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 88 p.

## CONCLUSIONES GENERALES

1. La *Brachiaria humidicola* presentó un mayor valor nutritivo en la época lluviosa, en términos de mayor contenido de minerales, (excepto Mn), PC, DIVMS, Solubilidad de la PC y menor contenido de fibra y porcentaje de PC ligada a la pared. Además presentó mayor relación H:T y menor porcentaje de material muerto. La época afectó los contenidos de P, N-NO<sub>3</sub>, el pH, la acidez y el contenido de humedad en el suelo, siendo mayores en la época de mayor precipitación, excepto para la acidez.
2. La *Acacia mangium* no tuvo efecto en el contenido de Ca, Mg, K y Mn de la gramínea, por el contrario aumentó significativamente el porcentaje de PC y disminuyó el de Biomasa muerta. Además el pasto creciendo bajo el SSP acumuló diferentes tipos de proteína en comparación con la que creció a pleno sol, presentando mayor solubilidad de la PC y menos PC ligada a la pared, lo que repercutió en una mayor degradabilidad potencial de esta.
3. La *Acacia mangium* no tuvo efecto en el contenido de Ca, Mg, K y Mn en el suelo, aunque los contenidos de Ca, K y Mn tendieron a ser mayores bajo los árboles. Los contenidos de N y P fueron superiores en el SSP, siendo de gran importancia, ya que el crecimiento de las pasturas tropicales frecuentemente se ve limitado por la deficiencia de estos elementos. El SSP mantuvo un mayor contenido de humedad en el suelo.
4. La cantidad de RAFA incidente sobre la *B. humidicola* en el SSP, fue significativamente inferior comparada a la que se presentó en el pasto como monocultivo, pero este factor no fue limitante para la producción de la pastura en esta zona de estudio.
5. La producción de MS de *B. humidicola* fue superior en el SSP con *A. mangium*, debido a que la cantidad de RAFA no fue limitante y a las mejores condiciones que se presentaron en el suelo bajo este sistema, en términos de mayores contenidos de N, P y humedad.

## RECOMENDACIONES

La *Acacia mangium* mejoró sustancialmente la calidad de la *Brachiaria humidicola*, en términos de mayor porcentaje y degradabilidad de la PC y un menor porcentaje de biomasa muerta; sin embargo esta gramínea sigue presentando un bajo valor nutritivo debido principalmente al bajo nivel de proteína. Una alternativa para mejorar este sistema es introducir leguminosas rastreras con altos niveles de proteína y minerales, que se adapten a las condiciones de estos suelos, mejorando así la dieta seleccionada por los animales.

Es importante estudiar la dinámica de descomposición de la *A. mangium* para entender mejor la liberación de nutrientes al sistema. Por otro lado es necesario tener en cuenta el componente animal ya que este afecta el ciclaje de nutrientes a través de la orina y heces, lo cual debe ser evaluado en estudios posteriores.

Se deben realizar otros estudios para evaluar diferentes densidades de árboles en estos sistemas para establecer el óptimo, y hacer un uso mas eficiente de la RAFA, obteniéndose mayores producciones de madera, sin afectar la producción de pasto. La acacia se puede intercalar con otras especies arbóreas que hagan un reciclaje mas eficiente de nutrientes y que suministren forraje a los animales.

La implementación de Sistemas Silvopastoriles de *Brachiaria humidicola* con *Acacia mangium*, puede ser una opción viable para los productores en condiciones edáficas y ecológicas similares, pues se obtiene una producción de MS aceptable, mayor calidad de la gramínea y un mejoramiento de los contenidos de N y P en el suelo.

## ANEXOS

**Cuadro 13. Fuentes de variación y grados de libertad asociados al diseño de parcelas divididas para la comparación de sistemas (SSP y BMC) en las diferentes épocas.**

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Grados de libertad
Tipo de sistema (S)	$s - 1$	1
Error a: R (S)	$s * (r - 1)$	8
Epoca (E)	$e - 1$	1
Interacción S*E	$(s - 1)*(e - 1)$	1
Error b: R*P(S)	$s*(r - 1)*(e - 1)$	8
Total	$r*s*e - 1$	19

**Cuadro 14. Análisis de Variancia de parcelas divididas para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas.**

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Grados de libertad
Distancia al árbol (D)	$d - 1$	2
Error a: R (D)	$d * (r - 1)$	12
Epoca (E)	$e - 1$	1
Interacción D*E	$(d - 1)*(e - 1)$	2
Error b: R*E(D)	$d*(r - 1)*(e - 1)$	12
Total	$r*d*e - 1$	29

**Cuadro 15. Análisis de Variancia de parcelas sub-subdivididas para la producción de materia seca de *Brachiaria humidicola* para la comparación entre sistemas (SSP y BMC), distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) y entre las cuatro fechas.**

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Grados de libertad
Tipo de sistema (SS)	$s - 1$	1
Error a: R (SS)	$s * (r - 1)$	8
Distancia al árbol Dis (SS)	$d - 1$	2
Error b: R * Dis (SS)	$(r - 1) (d - 1)$	8
Fecha (F)	$f - 1$	3
Interacción F*SS	$(s - 1) * (f - 1)$	3
Interacción Dis (F*SS)	$(s - 1) * (d - 1) * (f - 1)$	6
Error c:	$s * (r - 1) * (d - 1) * (f - 1)$	48
Total		79

**Cuadro 16. Valores de F para la composición mineral de *B. humidicola* de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).**

Fuentes de variación	Sistema	Repetición * Sistema	Epoca	Epoca * Sistema
Calcio	11.20 **	0.47	51.63 **	3.84
Magnesio	1.98	1.11	4.31	0.00
Potasio	3.72	4.08 *	171.94 **	1.31
Fósforo	1.29	3.45 *	40.07 **	0.28
Manganeso	1.06	1.12	95.53 **	0.64

\* Diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) \*\* Diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ )

**Cuadro 17. Valores de F para la composición mineral de *B. humidicola* para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas**

Fuentes de variación	Distancia	Repetición * Distancia	Epoca	Epoca * Distancia
Calcio	0.34	0.97	22.15 **	1.90
Magnesio	0.55	0.46	6.81 *	0.74
Potasio	3.13	0.97	42.15 **	0.54
Fósforo	0.11	2.83 *	39.47 **	0.10
Manganeso	6.13 *	0.61	158.43 **	1.63

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 18. Valores de F para las variables de fertilidad del suelo de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).**

Fuentes de variación	Sistema	Repetición * Sistema	Epoca	Epoca * Sistema
Humedad	35.69 **	1.80	661.63 **	3.13
pH	0.27	0.94	36.00 **	1.00
Acidez intercambiable	0.08	4.91 **	30.83 **	0.31
Calcio	0.41	1.19	3.55	1.21
Magnesio	0.42	2.11	3.68	0.05
Potasio	1.88	0.83	0.17	0.48
Fósforo	21.91 **	0.78 **	5.38	0.10
Manganeso	0.93	0.31	0.06	0.83
Nitrógeno	7.74 *	9.79 **	1.09	0.00
Amonio	62.12 **	0.75	3.61	22.09 **
Nitratos	9.59 **	1.00	43.48 **	9.59 **

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 19. Valores de F para las variables de fertilidad del suelo para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas**

Fuentes de variación	Distancia	Repetición * Distancia	Epoca	Epoca * Distancia
Humedad	0.42	1.32	1079.77 **	2.47
pH	0.75	0.76	55.05 **	0.76
Acidez intercambiable	1.30	2.54	28.69 **	0.42
Calcio	0.69	1.29	6.92 *	1.01
Magnesio	1.78	3.65 *	12.46 **	0.05
Potasio	2.34	0.53	0.01	0.42
Fósforo	1.05	1.65	1.72	0.60
Manganeso	0.80	0.71	1.75	0.14
Nitrógeno	0.04	22.86	4.61	0.16
Amonio	4.19 *	0.98	8.85 *	1.94
Nitratos	1.81	1.00	15.83 **	1.81

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

Cuadro 20. Valores de F para las características nutricionales de *B. humidicola* de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).

Fuentes de variación	Sistema	Repetición * Sistema	Epoca	Epoca * Sistema
FDN	5.11 *	2.05	0.27	3.32
FDA	0.02	2.03	35.91 **	16.67 **
Hemicelulosa	32.64 **	0.18	11.51 **	15.06 **
Celulosa	0.42	2.39	2.63	10 **
Lignina	0.04	1.62	113.90 **	0.23
Proteína cruda	63.92 **	0.45	11.24 **	2.64
Solubilidad de la proteína	7.74 *	0.77	11.02 **	1.89
Proteína ligada a la pared	7.47 *	1.66	159.01 **	3.89
DIVMS	3.03	2.80	382.54 **	4.73

\* Diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) \*\* Diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ )

**Cuadro 21. Valores de F para las características nutricionales de *B. humidicola* para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas**

Fuentes de variación	Distancia	Repetición * Distancia	Epoca	Epoca * Distancia
FDN	0.39	1.20	0.01	0.86
FDA	0.30	0.98	4.25	1.88
Hemicelulosa	1.21	0.77	2.09	1.03
Celulosa	0.41	1.26	4.54	2.83
Lignina	0.35	0.98	48.00 **	0.49
Proteína cruda	0.74	0.20	7.12 *	0.49
Solubilidad de la proteína	2.49	1.24	24.70 **	0.87
Proteína ligada a la pared	2.10	1.36	115.03 **	4.00
DIVMS	7.61 **	0.47	248.83 **	2.22

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 22. Valores de F para los parámetros de degradabilidad ruminal de la MS de *B. humidicola* de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).**

Fuentes de variación	Sistema	Repetición * Sistema	Epoca	Epoca * Sistema
Degradación inicial	8.61 *	0.89	36.99 **	3.51
Fracción de lenta degradación en el rumen	0.10	0.52	10.64 **	0.83
Degradación potencial	3.22	0.65	37.50 **	0.02
Tasa de degradación	2.85	1.13	36.51 **	2.16

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 23. Valores de F para los parámetros de degradabilidad ruminal de la PC de *B. humidicola* de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).**

Fuentes de variación	Sistema	Repetición * Sistema	Epoca	Epoca * Sistema
Degradación potencial	20.85 **	0.95	10.06 *	0.02
Fracción de lenta degradación en el rumen	1.86	0.57	1.52	0.06
Tasa de degradación	0.64	0.27	2.09	0.69

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 24. Valores de F para los parámetros de degradabilidad ruminal de la pared de *B. humidicola* de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).**

Fuentes de variación	Sistema	Repetición * Sistema	Epoca	Epoca * Sistema
Degradación potencial	2.88	0.74	16.29 **	0.01
Tasa de degradación	0.06	0.84	17.33 **	0.06
Período prefermentativo	25.89 **	0.54	6.30 *	4.03

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 25. Valores de F para la relación H:T y MM de *B. humidicola* de la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre épocas (seca y lluviosa).**

Fuentes de variación	Sistema	Repetición * Sistema	Epoca	Epoca * Sistema
Relación Hoja:Tallo	0.66	11.65 **	8.67 *	0.00
Material muerto	13.91 **	1.07	71.76 **	2.19

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 26. Valores de F para la relación H:T y MM de *B. humidicola* para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en las diferentes épocas**

Fuentes de variación	Distancia	Repetición * Distancia	Epoca	Epoca * Distancia
Relación Hoja:Tallo	0.95	8.32 **	24.42 **	0.50
Material muerto	2.05	1.05	86.32 **	0.62

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 27. Valores de F para la Radiación fotosintéticamente activa y el contenido de humedad del suelo para la comparación entre los sistemas (SSP y BMC) y entre las cuatro fechas de mediciones.**

Fuentes de variación	Sistema	Repetición * Sistema	Fecha	Fecha * Sistema
RAFA	333.18 **	4.52 **	478.37 **	2.20
Humedad	52.15 **	1.11	267.79 **	6.13 **

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 28. Valores de F para la Radiación fotosintéticamente activa y el contenido de humedad del suelo para la comparación de las diferentes distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) en cuatro fechas.**

Fuentes de variación	Distancia	Repetición * Distancia	Fecha	Fecha * Distancia
RAFA	133.36 **	3.80 **	234.49 **	6.50 **
Humedad	0.35	4.29 **	767.12 **	2.35

\* Diferencia significativa (P<0.05) \*\* Diferencia altamente significativa (P<0.01)

**Cuadro 29. Valores de F para la producción de materia seca de *Brachiaria humidicola* para la comparación entre sistemas (SSP y BMC), distancias de la hilera de árboles (1, 2.5 y 4m) y entre las cuatro fechas.**

Fuentes de variación	SS	Re * SS	Dis (SS)	Dis*Re(Sis)	F	F*SS	Dis(F*SS)
Producción	10.25**	2.48*	1.55	0.70	35.55**	1.42	0.26

\* Diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) \*\* Diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ )

SS: Sistema (SSP y BMC); Re: Repetición; Dis: Distancia (1, 2.5 y 4m); F: Fecha (febrero, abril, junio y julio).