

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

17 JUL 1998

RECIBIDO

**PRODUCTIVIDAD FORRAJERA, APORTE DE FOSFORO FOLIAR Y  
DINAMICA DE LOS HONGOS ENDOMICORRIZICOS Y  
LOMBRICES, EN UNA PRADERA DE *Brachiaria humidicola* SOLA  
Y EN ASOCIO CON *Acacia mangium***

**POR**

**JORGE ALEJANDRO VELASCO TREJO**



Turrialba, Costa Rica  
1998

**CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA  
(CATIE)**

**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA  
CONSERVACION  
ESCUELA DE POSTGRADO**

15 DIC 1998

RECIBIDO

**PRODUCTIVIDAD FORRAJERA, APORTE DE FOSFORO FOLIAR Y DINAMICA  
DE LOS HONGOS ENDOMICORRIZICOS Y LOMBRICES, EN UNA PRADERA  
DE *Brachiaria humidicola* SOLA Y EN ASOCIO CON *Acacia mangium***

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Postgrado del Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de:

*Magister Scientiae*

Por

**JORGE ALEJANDRO VELASCO TREJO**

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, Ph.D.  
Profesor Consejero

Gonzalo Galileo Rivas Platero, M.Sc.  
Miembro Comité Asesor

Donald L. Kass, Ph.D.  
Miembro Comité Asesor

Francisco Jiménez Otárola, Ph.D.  
Miembro Comité Asesor

Juan Antonio Aguirre, Ph.D.  
Director y Decano de la Escuela de Postgrado

Jorge Alejandro Velasco Trejo  
Candidato

## DEDICATORIA

**A mi esposa:**

Por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

**A mi mamá:**

Por haberme dado la vida y por el amor que siempre me ha entregado.

**A mi papá:**

Por haber abierto mis ojos al mundo de los libros y por su ejemplo profesional.

**A mis hermanos:**

Por ser mis mejores amigos y por que los amo (Pera y Tono).

## AGRADECIMIENTOS

Mi mas sincero agradecimiento a la Agencia Española de Cooperación Internacional (Programas de BECAS MUTIS) que brindó el financiamiento para hacer posible mi desarrollo profesional a nivel postgrado.

Al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), por facilitar el centro experimental en Calabacito, Veraguas, Panamá.

Al amigo, el Dr. Muhammad Ibrahim, profesor consejero, por sus consejos y orientación profesional, sobre todo por su calidad humana.

Al M. Sc. Galileo Rivas, miembro del comité asesor, por sus valiosas sugerencias, observaciones y por ser un excelente amigo.

Al Dr. Francisco Jiménez, miembro del comité asesor, por su excelente asesoría y amistad.

Al Dr. Donald Kass, miembro del comité, gracias.

Al M. Sc. Benjamín Name, Investigador del IDIAP, por su apoyo profesional y sincera amistad.

A Patricia Leandro, encargada del laboratorio de análisis de suelos, por su asesoría y gentil amistad.

A Paulo Dittel, por eficiente apoyo en los muestreos de campo.

**Velasco Trejo, J.A. 1998.** Productividad forrajera, aporte de fósforo foliar y dinámica de los hongos endomicorrízicos y lombrices, en una pradera de *Brachiaria humidicola* sola y *Acacia mangium*. Tesis Mag. Sc., CATIE.

**Palabras claves:** sistema silvopastoril, suelos ácidos, trópico húmedo, hojarasca, densidad arbórea, área basal, fósforo total, fósforo orgánico, fósforo disponible, Panamá.

### RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) determinar la productividad forrajera de *B. humidicola* en monocultivo en sus fracciones de hoja, tallo y biomasa muerta vs *B. humidicola* asociada con *Acacia mangium*, 2) evaluar el aporte de fósforo a través de la hojarasca de *A. mangium* y 3) Determinar la población y colonización de los hongos endomicorrízicos y la biomasa y población de lombrices, con relación a la influencia de la copa del árbol. El estudio se realizó en la finca experimental "Calabacito" del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, en la provincia de Veraguas, durante los meses de febrero, abril, junio y julio de 1998. El suelo es Ultisol, con pH menor a 5.5, aluminio intercambiable mayor a 2.5 meq 100 g suelo<sup>-1</sup> y alta capacidad de fijación de fósforo.

El estudio se dividió en dos ensayos, ensayo 1: determinó la productividad forrajera en sus fracciones hoja, tallo y biomasa muerta y constó de tres tratamientos: a) *B. humidicola* en monocultivo (Nd), b) *B. humidicola* más 120 arb ha<sup>-1</sup> y c) 240 arb ha<sup>-1</sup> de *A. mangium*. El diseño fue completamente al azar con un arreglo en parcelas divididas (sistema x época o mes). Ensayo 2: evaluó el aporte de fósforo a través de la hojarasca, determinó la población y colonización de hongos endomicorrízicos, así como la biomasa y población de lombrices, con relación a la influencia de la copa del árbol de *A. mangium*. El diseño fue completamente al azar con un arreglo en parcelas subdivididas (sistema x copa x época o mes).

Los resultados del ensayo 1 muestran que la producción forrajera fue mayor significativamente ( $p < 0.001$ ) en un 24 y 28% para Nd (1990 kg MS ha<sup>-1</sup>) sobre Bd y Ad, respectivamente. Sin embargo, la producción de hoja verde de *B. humidicola* fue mayor significativamente ( $p < 0.05$ ) en los sistemas arborizados respecto a Nd. La producción de tallos no mostró diferencias significativas al comparar los tres sistemas. La relación hoja:tallo fue mayor para Ad y Bd comparado a Nd, 1.13 ( $\pm 0.05$ ), 1.15 ( $\pm 0.08$ ) y 1.04 ( $\pm 0.07$ ), respectivamente. La relación lineal ( $p < 0.007$   $r^2 = 0.50$ ) entre el área basal y la producción de materia seca de *B. humidicola* solamente se detectó durante la época húmeda, mientras en la época seca esta relación entre variables no se presentó. En el ensayo 2, se detectó mayor producción mensual significativamente ( $p < 0.003$ ) de hojarasca de *A. mangium* para Ad en un 28% sobre Bd. El fósforo acumulado anual vía hojarasca fue mayor para Ad que Bd, 6.9 y 4.8 kg ha<sup>-1</sup>, por lo que, la concentración de fósforo total, orgánico y disponible en el suelo fue de 258.9, 82.5 y 3.6 mg l<sup>-1</sup>, respectivamente, en el sistema Ad.

La población de hongos endomicorrízicos fue mayor significativamente ( $p < 0.04$ ) en la época húmeda (2824 esporas g suelo<sup>-1</sup>) que en la seca (2033 esporas g suelo<sup>-1</sup>). La colonización por vesículas y arbusculos no mostró diferencias significativas por efecto de la copa del árbol. La biomasa (15.3 kg MS ha<sup>-1</sup>) y población (26 lombrices m<sup>2</sup>) de lombrices se incrementó significativamente un 64 y 70% en la época húmeda respecto a la seca; no se detectaron diferencias por efecto de la copa del árbol.

Se concluye que la productividad forrajera disminuye con el incremento de la densidad de plantación, el aporte de fósforo foliar de *A. mangium* contribuye a incrementar la concentración de fósforo total, orgánico y disponible en el suelo. Los hongos endomicorrízicos y las lombrices son mayormente afectadas por la época y el sistema que por de la copa del árbol.

**Velasco Trejo, J.A. 1998.** Forage productivity, leaf phosphorus contribution and the dynamics of endomycorrhizal fungus and earthworms in *Brachiaria humidicola* grassland alone and in association with *Acacia mangium* Tesis Mag. Sc., CATIE.

**Key words:** silvopastoral system, acid soils, humid tropics, litter, stand density, basal area, total phosphorus, organic phosphorus, available phosphorus, Panamá.

### SUMMARY

The objectives of this study were: 1) to determine the forage productivity of *B. humidicola* alone and in association with *A. mangium*; 2) to evaluate the phosphorus contribution through *A. mangium* litter; and 3) to determine the population density and infection of endomycorrhizal fungus and earthworm biomass in relation to the tree canopy. The study was carried out in the "Calabacito" field station of the Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) in Veraguas, between the months of January and February 1998. The soil are Ultisols, acidic (pH<5.5) with high interchangeable Aluminium (>2.3 meq 100 g soil<sup>-1</sup>) and high phosphorus fixation.

The study was divided in two experiments, The first experiment studied forage productivity of leaves, stem and dead biomass of *B. humidicola* grown in three systems: a) *B. humidicola* alone (Nd), b) *B. humidicola* plus 120 tree ha<sup>-1</sup> (Bd) y c) 240 tree ha<sup>-1</sup> (Ad) of *A. mangium*, in a completely randomised design with split plots where the main plots were pasture systems and season effects as split plots. The second experiment evaluated the leaf phosphorus contribution via *A. mangium* litter, it determined the population density and infection of endomycorrhizal fungus, and the biomass and population density of earthworm in relation to the canopy of *Aacia mangium* in a random design with split plots where tree zone was considered as main plot and seasonal effects as split plots.

The results of experiment 1 showed that forage productivity was significantly (p<0.01) higher in 24 and 28% for Nd (1990 kg MS ha<sup>-1</sup>) than Bd and Ad, respectively. However, leaf production was significantly (p<0.01) higher in the systems with trees than *B. humidicola* alone. *B. humidicola* stem production was significantly different from the other three systems. The average leaf-to-stem ratio for *B. humidicola* was higher for Ad than Bd y Nd, 1.13 (±0.05), 1.15 (±0.08) and 1.04v(±0.07), respectively. A linear regression of *B. humidicola* (Y) dry matter production on the basal area (X, m<sup>2</sup> ha) was significant (p<0.007 r<sup>2</sup>=0.51) during the wet season, however no relation was found between these variables in the dry season. In experiment 2, showed that litter was significantly higher (p<0.003) in Ad with 28% more than the monthly average in Bd. The mean accumulated annual phosphorus contribution, for Ad and Bd was 6.9 and 4.8 kg ha<sup>-1</sup> respectively, which result in *A. mangium* contribution of 258.9, 82.5 y 3.6 mg l<sup>-1</sup>, on total, organic and available phosphorus, respectively.

The population density of endomycorrhizal fungus was found significantly (p<0.04) higher in the wet season (2824 spores 100 g soil<sup>-1</sup>) than in the dry season (2033 spores 100 g soil<sup>-1</sup>). The arbuscular and vesicular infection was significantly affected (p<0.05) by season; no differences were found as by canopy effect for arbuscular and vesicular endomycorrhizals fungus. Earthworm biomass (15.3 kg MS ha<sup>-1</sup>) and population density (26.2 earthworms m<sup>2</sup>) increased significantly (p<0.001) by 64 and 70% in the wet season compared to dry season. However, no significant differences were found as effect of the canopy.

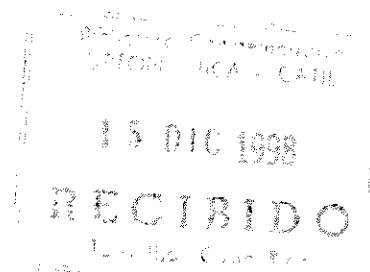
The conclusion is that forage productivity decreases as tree density increases. Phosphorus supply in silvopastoral systems were higher than those of the grass monoculture. Endomycorrhizal fungus and earthworms are more affected by the season and stand density of trees than the tree canopy.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION GENERAL	1
2. OBJETIVO GENERAL	4
2.1. Objetivos específicos.	4
3. HIPOTESIS	5
4. REVISION DE LITERATURA	5
4.1. Sistema Silvopastoril (SSP)	5
4.2. Importancia del árbol en un sistema silvopastoril	6
4.3. Producción de la pastura en un SSP	9
4.4. La luz de bajo del dosel	9
4.5. La Acacia mangium	11
4.6. Brachiaria humidicola	12
4.7. Actividad biológica del suelo	13
4.8. Hongos endomicorrízicos	13
4.8.1. Los hongos micorrízicos y el fósforo	15
4.9. Lombrices de tierra	18
4.10. El fósforo total (Ptotal)	18
4.11. Fósforo Orgánico (Porga)	19
4.12. Fósforo inorgánico	20
4.13. Fósforo adsorbido del complejo coloidal	20
4.14. Fósforo disponible en la solución del suelo	20
4.15. Adsorción, Fijación y Precipitación del fósforo	21
4.16. Mineralización	21
4.17. Adsorción por las plantas	22
5. LITERATURA CITADA	23
6. ARTICULO I Producción forrajera de <i>Brachiaria humidicola</i> sola y en un sistema silvopastoril con <i>Acacia mangium</i> , en el trópico húmedo de Panamá	30
7. ARTICULO II Contribución de <i>Acacia mangium</i> en el aporte de fósforo y la actividad biológica del suelo en una pastura de <i>Brachiaria humidicola</i>	48
8. CONCLUSIONES Y APLICACIONES GENERALES	81
9. ANEXOS	85



**CONTENIDO**  
**ARTICULO I**



<b>ARTICULO I</b>	<b>30</b>
Producción forrajera de <i>Brachiaria humidicola</i> sola y en un sistema silvopastoril con <i>Acacia mangium</i> , en el trópico húmedo de Panamá.	<b>30</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>30</b>
<b>2. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>32</b>
2.1. Localización del ensayo	32
2.2. Descripción del área experimental	32
2.3. Tratamientos y diseño experimental	33
2.4. Variables evaluadas	33
2.4.1. Producción de forraje con base en materia seca	33
2.4.2. Radiación fotosintéticamente activa con y sin <i>A. mangium</i>	34
2.4.3. Diámetro a la altura del pecho y área basal	35
2.4.4. Análisis estadístico	35
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>35</b>
3.1. Producción de forraje de <i>B. humidicola</i>	35
3.2. Hojas-Tallos y biomasa muerta	36
3.3. Radiación fotosintéticamente activa (RAFA) con y sin <i>A. mangium</i>	39
3.4. Relación área basal: producción de forraje verde con base en materia seca (MS)	40
<b>4. DISCUSION</b>	<b>42</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
<b>6. LITERATURA CITADA</b>	<b>45</b>

## LISTA DE CUADROS

## ARTICULO I

- Cuadro 1.** Promedios de producción de hoja, tallo y biomasa muerta del forraje disponible de *B. humidicola* en monocultivo (Nd) y en asocio con *A. mangium* (Nd=0, Bd=120 y Ad=240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998. 39
- Cuadro 2.** RAFA promedio por época y durante el ensayo, en el sistema de *B. humidicola* en monocultivo (sin *A. mangium* ) y en asocio con *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998. 40

## LISTA DE FIGURAS

## ARTICULO I

- Figura 1.** Distribución de la precipitación y de la humedad del suelo (H. suelo) durante los meses de estudio bajo los sistemas de *B. humidicola* sola y en asocio con *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998 33
- figura 2.** Producción de forraje por sistema, durante los meses de pastoreo. Veraguas, Panamá, 1998. 36
- Figura 3.** Producción de hojas (a), tallos (b) y relación hoja:tallo (c) del forraje disponible de *B. humidicola* en monocultivo (Nd) y en asocio con *A. mangium* (Nd=0, Bd=120 y Ad=240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998. 38
- Figura 4.** Producción biomasa muerta del forraje disponible de *B. humidicola* en monocultivo (Nd) y en asocio con *A. mangium* (Nd=0, Bd=120 y Ad=240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998. 39
- Figura 5.** Relación área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) de *A. mangium*: producción de forraje verde disponible de *B. humidicola* con base en materia seca, ajuste en la época húmeda (a) y seca (b) con el modelo lineal. Veraguas, Panamá, 1998. 41

## CONTENIDO

## ARTICULO II

<b>Contribución de <i>Acacia mangium</i> en el aporte de fósforo y la actividad biológica del suelo en una pastura de <i>Brachiaria humidicola</i></b>	<b>48</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>48</b>
<b>2. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>51</b>
2.1. Localización del ensayo y descripción del área experimental	51
2.2. Tratamientos y diseño experimental	51
2.3. Determinación de la producción de hojarasca de la <i>A. mangium</i>	52
2.4. Recolección de muestras de suelo	53
2.5. La concentración del fósforo foliar (Pfol) en la <i>A. mangium</i> y <i>B. humidicola</i> .	53
2.6. Otros nutrimentos en la hojarasca de <i>A. mangium</i>	53
2.7. Determinación del fósforo en suelo	53
2.8. El aporte de fósforo foliar de hojarasca de <i>A. mangium</i> y la concentración de fósforo foliar en la <i>B. humidicola</i> .	54
2.9. Población y colonización de hongos endomicorrizicos	54
2.10. Determinación de la población y biomasa de lombrices	55
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>55</b>
3.1. Producción, concentración y aporte de fósforo de la hojarasca de <i>A. mangium</i>	55
3.2. Aporte de nutrimentos de hojarasca	57
3.3. Concentración y contenido de fósforo en la <i>B. humidicola</i>	58
3.4. Fósforo Total	59
3.5. Fósforo Orgánico	59
3.6. Fósforo Disponible	60
3.7. pH y la materia orgánica del suelo	63
3.8. Humedad del suelo	64
3.8. Población de hongos endomicorrizicos	64
3.9. Géneros asociados al sistema	66
3.10. Colonización de vesículas y arbusculos	67
3.11. Población y Biomasa de Lombrices	67
<b>4. DISCUSION</b>	<b>69</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>75</b>
<b>6. LITERATURA CITADA</b>	<b>77</b>

## LISTA DE CUADROS ARTICULO II

- Cuadro 1.** Producción anual total de los nutrimentos aportados vía hojarasca de la *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998. **57**
- Cuadro 2.** Materia orgánica en el suelo por época en el sistema silvopastoril de *B. humidicola* con *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998. **63**
- Cuadro 3.** Porcentaje promedio de vesículas y arbúsculos durante dos épocas y en un sistema silvopastoril con dos densidades de *A. mangium* manejada bajo pastoreo. Veraguas, Panamá, 1998. **67**

## LISTA DE FIGURAS ARTICULO II

- Figura 1.** Aporte de hojarasca de *A. mangium* para un sistema silvopastoril con dos densidades arbóreas (Bd y Ad: 120 y 240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998. **56**
- Figura 2.** Producción de hojarasca de *A. mangium* en las dos épocas y ubicación respecto a la copa del árbol (Bajo copa: Bcopa y Fuera copa: Fcopa) x época. Veraguas, Panamá, 1998. **56**
- Figura 3.** Aporte de P vía hojarasca de *A. mangium* por efecto del sistema y la época. Veraguas, Panamá, 1998. **58**
- Figura 4.** Relación entre densidad de siembra de árboles, la influencia de la copa y el aporte de fósforo de *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998. **58**
- Figura 5.** Concentración de fósforo (P) foliar en la *Brachiaria humidicola* por efecto de la época. Veraguas, Panamá, 1998. **59**
- Figura 6.** Concentración de fósforo (P) en el suelo (Pdisponible: Pdispo, P orgánico: Porga y Ptotal) para los sistemas (Nd: pradera a pleno sol, Bd: 120 y Ad: 240 arb ha<sup>-1</sup>). **61**
- Figura 7.** Concentración de fósforo (P) en el suelo (Pdisponible: Pdispo, P orgánico: Porga y Ptotal) para la influencia de la copa del árbol (Bcopa: bajo la copa y Fcopa: fuera de la copa). **62**
- Figura 8.** Variación del pH del suelo en diferentes épocas (seca y húmeda) y por efecto de a) sistemas (Nd= 0, Bd= 120 y Ad= 240 arb ha<sup>-1</sup>) y b) copa (Bcopa: Bajo y Fcopa: Fuera de copa). Veraguas, Panamá, 1998. **63**
- Figura 9.** Humedad del suelo en diferentes épocas en un sistema de monocultivo de *B. humidicola* (Nd= 0 arb ha<sup>-1</sup>) y en asocio con *A. mangium* (Bd= 120 y Ad= 240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998. **64**
- Figura 10.** Población de hongos micorrízicos en los sistemas por efecto de la época (seca y húmeda). Veraguas, Panamá, 1998. **65**

- Figura 11.** Población mensual de hongos endomicorrízicos Bcopa y Fcopa en los sistemas. Veraguas, Panamá, 1998. 66
- Figura 12** Frecuencia de géneros de hongos endomicorrízicos asociados a un SSP (*B. humidicola* con *A. mangium*). Veraguas, Panamá, 1998. 66
- Figura 13.** Biomasa y población de lombrices por sistema (Bd:120 y Ad: 240 arb ha<sup>-1</sup>) con relación a la época (seca y húmeda). Veraguas, Panamá. 1998. 68
- Figura 14.** Población de lombrices en un sistema silvopastoril bajo y fuera de la copa del árbol de *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998. 68

## 1. INTRODUCCION GENERAL

La degradación del medio ambiente es un problema global; la población creciente está poniendo mayor presión sobre los recursos naturales (Jarvis, 1991) por lo tanto, es necesario generar opciones de uso de la tierra que sean amigables con el medio ambiente.

Según informes de distintos países del mundo, cerca de 30 millones de hectáreas de bosque húmedo tropical han sido directamente o indirectamente convertidas en pasturas (INPE, 1990; Peralta y Ramos, 1988; Ramírez y Sere, 1988; Salinas, 1987). En América Latina, entre 1850 y 1985, la liberación neta total de carbono fue estimada en  $30 \text{ Pg C año}^{-1}$  debido a los cambios de uso de la tierra y se cree que la fuente de esta emisión neta de  $\text{CO}_2$  fue el incremento de área de pasturas (Houghton *et al.*, 1991). En América Latina Tropical, existen 822 millones de hectáreas de suelos ácidos y de baja fertilidad (Toledo, 1982). El 4% del total del bosque húmedo, ha sido deforestado para crear áreas de pastoreo (Serrão, 1991). En América Central la declinación en la productividad de los suelos ácidos se refleja en que aproximadamente el 60% de las praderas están degradadas (Huising, citado por Ibrahim, 1994).

El sistema silvopastoril (SSP) ante el esquema productivo anterior, es una opción de producción que involucra la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos), interactuando con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales), manejados con el fin de incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema (Budowski, 1989; Sánchez, 1995). El uso de SSP en suelos degradados puede contribuir a establecer una relación amigable de uso de la tierra al integrar al árbol con pasturas, ya que mantiene la materia orgánica del suelo y favorece el ciclo de nutrimentos (Serrao, 1991).

La fertilidad del suelo puede ser incrementada con el SSP, al utilizar especies leguminosas como árboles y arbustos, debido a su habilidad de fijar nitrógeno y ser fuente de nutrimentos para la pastura a través de la hojarasca (Palm y Sánchez, 1990). La cantidad de hojarasca, su composición química, la

adición de nutrientes y cambios en los constituyentes químicos del suelo, depende de las especies relacionadas (Singh *et al.*, 1989).

Se asume que la hojarasca de las plantas leguminosas, tal como la *A. mangium*, es una fuente de fácil disponibilidad de nitrógeno. Los constituyentes vegetales, pueden modificar la calidad del material vegetal, que se refleja en una lenta descomposición y liberación de nutrientes. El material vegetal con alta concentración de lignina se descompone más lentamente. La lignina también puede inmovilizar nitrógeno durante la descomposición; aparentemente el contenido de compuestos polifenólicos influyen más que el contenido de nitrógeno o lignina (Palm y Sánchez, 1990). Estos autores encontraron en tres leguminosas (*Inga edulis*, *Erythrina sp* y *Cajanus cajan*) que dichos compuestos pueden ser precursores de formas estables de N en la materia orgánica del suelo y que la mineralización de nutrientes sigue un patrón similar a la descomposición. Las tasas de pérdidas de nutrientes de las hojas siguieron la siguiente tendencia:  $K > P > N$  y el  $Mg > Ca$  (Palm y Sánchez, 1990).

El SSP a través del árbol no supe el fósforo requerido para la pastura, ya que la captura que realizan los árboles por este nutriente es a una profundidad, donde las concentraciones de fósforo disponible son muy bajas (Sánchez, 1995). En suelos con alta capacidad de fijación de fósforo por los óxidos de hierro y aluminio, la aplicación de roca fosfórica es un manejo estratégico para cubrir deficiencias, debido a que los fosfatos son gradualmente por la desabsorción proveniente de la superficie de las arcillas en los próximos cinco a diez años (Sánchez y Uehara, 1980; Sánchez, 1995).

El universo de interacciones que se presentan en el SSP contempla cambios en el microclima, tales como sombreado, temperatura, humedad y velocidad del viento (Monteith *et al.*, 1991) y en el suelo: pH, humedad, textura y nutrientes. Mientras estas variables físicas son relativamente fáciles de medir, las relaciones respecto a la densidad y especie arbórea en praderas, la productividad forrajera, el aporte de nutrientes foliares, así como la influencia en el suelo bajo la copa, son altamente complejas. Por ejemplo, los cambios en la pastura son una baja en la concentración de pared celular y cambios en la

bioquímica del forraje (Allard *et al.*, 1991; Kephart y Buxton, 1993). En los procesos de descomposición, la humedad del suelo y el contenido de materia orgánica (Szott *et al.*, 1991) afecta la actividad de los organismos. Se destacan por su participación los hongos formadores de micorrizas con relación al fósforo, las lombrices en la distribución de bacterias y hongos, así como la mineralización del nitrógeno (Babbar y Ewel, 1989).

Dentro de las leguminosas arbóreas, *A. mangium* ha ganado importancia para ser usada en programas de reforestación en varios países tropicales, en el Sur-Este de Asia especialmente para la producción de pulpa. Estas han sido dos razones para su marcado incremento en su utilización, particularmente por tolerar suelos ácidos y pobres (Srivastava, 1993; de la Cruz y Yantasath, 1993) y puede crecer bien en praderas donde se desarrollan pasturas (de la Cruz y Yantasath, 1993). Además, *A. mangium* ha mostrado mejorar significativamente los contenidos de fósforo disponible en los primeros 15 cm del suelo (Fisher, 1995).

Como otros árboles de la familia de las leguminosas, *A. mangium* puede crecer sobre suelos infértiles, incluyendo los que se encuentran en tierras de pastoreo, en parte porque presentan asociaciones simbióticas con organismos presentes en el suelo. La mayor asociación simbiótica son las micorrizas (de la Cruz y Yantasath, 1993). Las raíces de *A. mangium* provee a estos organismos exceso de carbohidratos y otros metabolitos; en compensación, los hongos micorrízicos hacen viables nutrientes del suelo para los árboles, particularmente fósforo y nitrógeno. De la Cruz y Yantasath (1993) reportaron que las especies de hongos micorrízicos dominantes encontrados en suelos ácidos (de pH 4.3 a 5.0) en *A. mangium* fueron la *Acaulospora* spp. y *Glomus* spp.

La *Brachiaria humidicola*, también presenta tolerancia a condiciones de baja precipitación estacional y a suelos con alta saturación de Al y bajo nivel de P disponible para su buen crecimiento y desarrollo (da Silva *et al.*, 1992; Seiffert, 1980; Vallejos, 1988): con respecto a la asociación con hongos endomicorrízicos, su porcentaje de colonización es cercana al 80% cuando se encuentra asociada con leguminosas, esto representa 30% más que en monocultivo (Howeler *et al.*, 1987).



También existe una atención especial sobre los nutrimentos liberados a partir de la descomposición de residuos vegetales y estimulación de la actividad de la fauna y que propician un eficiente uso de la materia orgánica.

Así se observa que las lombrices tienen un papel preponderante en la regulación de los procesos del suelo, ya que ingieren una mezcla de partículas orgánicas y minerales, y sus excretas contienen materia orgánica estabilizada. Las lombrices tienen un sistema digestivo simbiótico eficiente en asociación con la microflora que es digerida de distintos substratos; por ejemplo, complejos tanínicos proteicos, componentes de lignina y húmicos. Las lombrices crean una diversa y abundante estructura, presentando una marcada influencia sobre las características físicas del suelo (Lavalle *et al.*, 1997). Las lombrices pueden ingerir grandes cantidades de suelo y hojarasca, participando en los procesos biológicos de descomposición y como reguladores de la dinámica de la hojarasca y materia orgánica del suelo en el ecosistema; ellas pueden incorporar la producción total de hojarasca anual siempre y cuando sean abundantes (Lavalle *et al.*, 1997).

Así se tiene que las lombrices endógenas son el componente faunístico más grande del suelo en muchos ecosistemas naturales del trópico húmedo (Lavalle *et al.*, 1997). Pashanasi *et al.* (1996) observaron que la presencia de lombrices (*Pontoscolex corethrurus*) en suelos de cultivos, con bajas entradas de nutrimentos, en Yarimaguas (Perú), la producción del sistema de cultivo (maíz, arroz, Cowpwa) se incrementó significativamente en un 36%.

## 2. OBJETIVO GENERAL

Determinar la productividad forrajera de *B. humidicola*, en el aporte de fósforo de *A. mangium* y la actividad biológica del suelo en un sistema silvopastoril en asocio con *A. mangium*.

### 2.1. Objetivos específicos.

- a) Determinar la producción forrajera con base en materia seca de una pradera de *B. humidicola* sola y con dos densidades de *A. mangium* (120 y 240 arb ha<sup>-1</sup>).

- b) Cuantificar el aporte de fósforo de *A. mangium* a través de la hojarasca y determinar la concentración en el suelo de fósforo total, orgánico y disponible con relación a la influencia de la copa del árbol.
- c) Cuantificar la biomasa de lombrices, la población hongos endomicorrízicos y su colonización, con relación a la influencia de la copa del árbol.

### 3. HIPOTESIS

- a) La productividad de la pradera de *B. humidicola* disminuye a medida que se incrementa la densidad de árboles de *A. mangium*.
- b) El aporte de fósforo de la hojarasca de *A. mangium* incrementa las fracciones de fósforo total, orgánico y disponible, bajo la copa del árbol y comparado con el monocultivo de *B. humidicola*.
- c) La biomasa de lombrices, la población de hongos endomicorrízicos y su colonización, es mayor bajo la copa de *A. mangium* que fuera de ésta y es afectada por la época del año.

## 4. REVISION DE LITERATURA

### 4.1. Sistema Silvopastoril (SSP)

Somarriba (1989) define estructuralmente al sistema agroforestal (SAF) como una asociación (espacial o temporal) de dos o más especies diferentes, donde por lo menos una de ellas debe ser leñosa y tener algún tipo de manejo. Funcionalmente es un ecosistema artificial donde se alteran las condiciones naturales de manera antropogénica, para servicio del hombre (Fassbender, 1994). Son varios los autores que mantienen a las interacciones como la característica principal en la definición de sistemas agroforestales (Combe y Budoswski, 1979; Sánchez, 1995; Leakey, 1996). Entonces, el SSP se define como aquella actividad donde en un mismo espacio, interactúan dos especies, una leñosa y otra herbácea, complementados al menos con una especie animal (Somarriba, 1992; Pezo e Ibrahim, 1996).

Los componentes árbol, forraje y animal se afectan así mismos, ya sea directa o indirectamente dentro de un espacio y tiempo; a su vez interactúan con el

suelo y todos en conjunto, se encuentran influenciados por las condiciones climáticas.

Es la interacción la que puede incrementar la producción del sistema (Monteih *et al.*, 1991). Estos autores destacan que en todos los tipos de vegetación, la habilidad individual para crecer y reproducirse depende de la capacidad para capturar recursos de su medio ambiente, lo que lleva a una inevitable interacción de competencia.

#### **4.2. Importancia del árbol en un sistema silvopastoril**

Los árboles y arbustos leguminosos son comúnmente usados en los sistemas agroforestales del trópico húmedo. Estas leñosas proveen sombra y también un servicio como recurso materia orgánica, fósforo y otros minerales a través de la hojarasca.

A partir de la materia orgánica son liberados nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes en forma disponible para la planta a través de la mineralización, promueve la capacidad de intercambio catiónico, formación de sustancias orgánicas solubles; estabilización de acidez; favorece la estructura del suelo mediante la formación de agregados; mejora la infiltración de agua, reduce las pérdidas por evaporación, mejora el drenaje del suelo; estimula el desarrollo radicular y la actividad de macro y microorganismos del suelo (Swift *et al.*, 1979; Fassbender, 1994).

East y Felker (1993) observaron que el suelo bajo los doseles contiene más nitrógeno, fósforo y carbono orgánico que suelos a campo abierto, sobretodo, en los primeros 15 cm de profundidad. El total de nitrógeno en el suelo favoreció una mayor producción de materia seca (MS) y contenido de proteína. La humedad se correlacionó positivamente con el nitrógeno total en el suelo. El fósforo del suelo fue correlacionado positivamente con el contenido de proteína cruda y la producción de MS. El carbono orgánico se correlacionó positivamente con el contenido de humedad en suelo y la producción de MS, pero no hubo efecto sobre la proteína cruda (PC).

Palm y Sánchez (1990) concluyó que los SAF mantienen la fertilidad del suelo, debido a la presencia del árbol, ya que se observaron altas producciones de

cultivos cerca de los árboles. Las cantidades de nutrientes proporcionados por hojas y ramas de los árboles están determinados por la tasa de producción y concentración de nutrientes, ambos dependen de las condiciones climáticas, tipo de suelo, especie arbórea, parte de la planta, densidad de la plantación y para arboles y arbustos forrajeros el régimen de poda. La liberación de nutrientes de la materia orgánica es en parte determinada por su composición química o calidad. Muchas leguminosas arbóreas de los SAF producen suficiente biomasa producto de la poda y contienen gran cantidad de nutrientes, excepto P.

El ciclaje de nutrientes dentro de un SSP debe considerar el balance de lo que entra y sale. Se busca que los nutrientes en la materia orgánica ciclen tan rápido como les sea posible dentro del sistema: animal, planta y suelo (Williams y Chartres, 1991).

El componente arbóreo por medio de sus sistemas radicales generalmente profundos, es capaz de explorar los horizontes más bajos del suelo y "bombear" los nutrientes para hacerlos eventualmente disponibles a los pastos a través de la mineralización de las hojas, ramas y de las raíces superficiales que alcanzan la fase de senescencia (Rundel *et al.*, 1982).

Para que se lleve a cabo la mineralización de las hojas, ramas y de las raíces superficiales; la relación lignina:nitrógeno en los residuos orgánicos es de suma importancia, ya que regula la velocidad de liberación de diferentes fracciones de carbono (Ayaraza *et al.*, 1994), la lignina puede inmovilizar nitrógeno durante los procesos de descomposición (Berg y McLaugherty, 1987). También la edad de las hojas influye, debido a la relación C:N y lignina:N, son factores importantes que aceleran la pérdida de elementos, ya que las hojas jóvenes son más lábiles y fácilmente lixiviables que las hojas viejas y secas (Swift *et al.*, 1979; Babbar y Ewel, 1989; Tian *et al.*, 1992; Palm y Sánchez, 1990).

Pezo *et al.* (1992) señalan que una proporción significativa de nutrientes absorbidos por las plantas son devueltos al suelo a través de la descomposición de los residuos vegetales y que a través de excretas representa el 75 y 90%, en vacas lecheras y animales en crecimiento, respectivamente, del total de los elementos minerales consumidos.

Es importante tomar en cuenta la conclusión de Babbar y Ewel (1989), ellos enuncian que el éxito de un ecosistema dependerá más de su capacidad de retener los elementos liberados que de su tasa de descomposición.

Lo anterior destaca las importantes implicaciones al reciclaje de los minerales contenidos en el follaje y a la selección de leguminosas para sistemas agroforestales.

El contenido de nutrimentos observados en el follaje de los árboles presentes en sistemas agroforestales, depende de varios factores, incluyendo las especies, fertilidad del suelo, edad de las hojas, clima y hasta las metodologías de laboratorio empleadas para la determinación del contenido mineral.

Producto de la presencia de los árboles en el SSP es la hojarasca, esto significa una variación en la adición de N, P y potasio (K) (Singh *et al.*, 1989). Estos autores documentan que los nutrimentos removidos por los árboles a horizontes más profundos fueron en cantidades considerables para ser retornados a la superficie del suelo en forma de hojarasca.

La descomposición de la hojarasca conduce con el tiempo a la liberación de nutrimentos en una forma disponible para las plantas (Anderson, 1993). La tasa de descomposición que conlleva a la liberación de nutrimentos, está controlada por el clima y la calidad del recurso; de tal forma que la eficiencia de transferencia del nutrimento dependerá del momento de liberación, en relación con la tasa de máximo crecimiento de la pastura y la demanda de nutrimentos por la planta en el cultivo (Swift, 1981).

Respecto a la regulación del agua, los árboles y pasturas pueden reducir la escorrentía a través de proveer vegetación de cobertura, así como estructura y permeabilidad a los suelos gracias a la abundancia y profundidad de las raíces. El incremento en la vegetación también contribuirá a una alta evapotranspiración, afectando positivamente el balance hídrico del ecosistema, al minimizar la carga de agua e inundación de las partes más bajas del suelo, así como también extraer nutrimentos minerales y agua de las profundidades en la estación seca (Belsky *et al.*, 1993).

La captura de CO<sub>2</sub>, así como la conservación de suelo debido a las raíces profundas en asociación con una alta cobertura de pastos, hace más eficiente el reciclaje de nutrientes, pudiendo ayudar a prevenir la erosión del suelo en áreas montañosas. Sin embargo, cuando las pendientes son escarpadas y en áreas de escorrentía, una reforestación completa es probablemente la mejor alternativa.

#### **4.3. Producción de la pastura en un SSP**

El papel de los árboles en áreas de bosque húmedo con reducido periodo de sequía o sin este, es de poca importancia. Sin embargo, en el trópico con tres o cuatro meses definidos de sequía, bajo las copas de los árboles se mantiene por más tiempo la humedad, y por tanto se demora el efecto de síntomas causado por el estrés hídrico en las pasturas.

Giraldo (1995), estudió el efecto de tres densidades (120, 240 y 0 arb ha<sup>-1</sup>) de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región Atlántica de Colombia; concluyó que el efecto de la densidad de árboles en el silvopastoreo, produce mayor cantidad de forraje en la gramínea, especialmente en época de verano. La calidad nutritiva de la pastura fue más afectada por la época del año, que por la densidad de los SSP. La magnitud del sombreado depende de la cantidad de árboles por unidad de superficie, de la altura, la arquitectura y fisiología de cada especie leñosa.

#### **4.4. La luz de bajo del dosel**

En los SSP la densidad de árboles afecta negativamente la cantidad y la calidad de la luz que llega bajo la copa del árbol.

Cuando se intercepta la radiación solar en los sistemas agroforestales, trae como consecuencia una producción de biomasa usualmente mayor que la encontrada en cultivos o pastos solos (Budowski, 1989). No obstante, las plantas que se desarrollan bajo los árboles disponen de menores cantidades de luz y a veces no satisfacen las necesidades para una óptima producción; esto difiere dependiendo de la especie; así se observa que las especies C<sub>4</sub> y C<sub>3</sub>, requieren de 100 y 20 cal cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, para tener una producción óptima (Morelo, 1972). Por lo tanto, la actividad de carboxilación y la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico

resulta del delicado balance positivo (Glc-6-P, triosa-P) y negativo (L-malato), que será modulado por los procesos regulatorios de fosforilación y los procesos varían grandemente durante la presencia o ausencia de luz (Usuda, 1985; Doncaster y Leegood, 1987; Jiao y Chollet, 1991; Brakrim *et al.*, 1992).

Existen situaciones donde el estrés por luz es más severo. En comunidades densas de pasturas, la competencia por la luz entre las mismas plantas se presenta debido al sombreado por sus propios vecinos, indistintamente si estos son pastos y/o leguminosas.

Muchas son plantas de "sol" en las pasturas tropicales con limitada habilidad a tolerar o aclimatarse a la sombra, por lo tanto, no todas presentan la misma capacidad de acceder a la radiación (Ludlow, 1980).

Las pasturas tropicales de tipo metabólico C<sub>4</sub>, alcanzan su máxima producción con altos niveles de intensidad lumínica. La influencia de los árboles sobre la producción de las pasturas, considerando solamente la intersección de la radiación solar, se espera que resulte una baja en la producción. El efecto mayor de la intersección lumínica en la cantidad de la biomasa, se da durante el verano y entre densidades alta y media, comparadas con la baja (Giraldo, 1995).

Acciareci (1994), encontró que el efecto de la densidad arbórea en la penetración solar y la producción de forraje en rodales de Alamo (*Populus deltoides* March), sobre una mezcla de especies herbáceas (*Bromus unioloides*, *Lolium multiflorum*, *Paspalum dilatatum*, y *Cynodon dactylon*), fue que la producción forrajera estuvo determinada por la densidad arbórea y la penetración de la luz. El orden de producción fue 0 > 250 > 312 > 416 > 625 árboles ha<sup>-1</sup>. La calidad y cantidad de la radiación solar fue aparentemente el factor principal en limitar el crecimiento del pasto.

Además, la presencia de leñosas perennes en las pasturas resulta en un microclima más favorable (humedad, temperatura) para la actividad biológica de la micro y macrofauna, lo cual proporciona una mayor tasa de mineralización de nutrimentos y disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Belsky *et al.*, 1993).

#### 4.5. La *Acacia mangium*

La *Acacia mangium* Will, forma parte de la familia Leguminosae, subfamilia mimosoideae. El género *Acacia* incluye a más de 1 000 especies de árboles y arbustos, los cuales se encuentran en África, América, Asia y Australia, con el mayor número de especies en el continente australiano. *A. mangium* es nativa del norte de Australia e islas vecinas. Su distribución natural es en el rango latitudinal entre los 11° 2' S a 18° 57' S, (Pinyopusarek *et al.*, 1993).

Es de hábitos pioneros, presenta habilidad para la fijación de nitrógeno y es de usos múltiples, su propagación es por semilla, rápido crecimiento y no tolera la sombra. Es una especie preferida para las tierras bajas del trópico húmedo. Ha mostrado ser tolerante para condiciones de suelos pesados, bajo pH y pobre fertilidad (Wiersum y Ramblan, 1982; NAS, 1983). Esta prefiere los sitios húmedos con prolongados periodos de sequía (Pinyopusarek *et al.*, 1993).

El área de plantación a lo ancho del mundo es de 150 000 ha, y su principal uso en la industria es la pulpa para fabricar papel (Pinyopusarek *et al.*, 1993). Es de rápido crecimiento y de buena forma (Nicholas, 1988). *A. mangium* puede crecer de 25-35 m de altura y un diámetro a la altura del pecho (DAP) sobre los 60 cm, dependiendo de la calidad del sitio (Srivastava, 1993).

La popularidad de *A. mangium* principalmente se debe a la habilidad para establecerse en sitios adversos. Esta puede crecer bien en praderas donde se desarrollan pasturas. Aunque como cualquier especie *A. mangium* también tiene sus problemas con el sitio donde esté plantado (De la Cruz y Yantasath, 1993).

La producción de hojarasca de *A. mangium* ha sido poco estudiada; sin embargo, el conocimiento de esto es de suma importancia, ya que puede influir el pH, materia orgánica y sobre la disponibilidad de fósforo en el suelo (Young, 1989). Tsai (1992) reporta que la cantidad de hojarasca acumulada fue de aproximadamente 6000 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un estudio en *A. mangium* de cuatro años de edad.

Halenda (1990), encontró que *A. mangium* presentó valores acumulados en la biomasa aérea del orden de: 616 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, seguido por el calcio con



404 kg ha<sup>-1</sup> y potasio (297 kg ha<sup>-1</sup>); respecto al fósforo y magnesio estas fueron menores, 33 y 48 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Fisher (1995) reportó que *A. mangium* incrementó significativamente el contenido de fósforo en 7.3 a 8.1 ppm, después de tres años de plantado un suelo degradado (Typic Tropohumult).

#### 4.6. *Brachiaria humidicola*

Dentro del género *Brachiaria* existen alrededor de 80 especies conocidas (Monteiro *et al.*, 1974) las cuales se encuentran distribuidas a través de los trópicos. La *Brachiaria* pertenece a la familia gramineae, tribu Paniceae, son anuales o perennes, con hábito de crecimiento erecto, cespitoso, estolonífero, cuya altura varía de 30 a 200 cm, sus hojas tienen de 4 a 60 cm de largo y de 0.8-2.0 cm de ancho, poseen una flor hermafrodita o masculina de 1 a 3 estambres, espigas o panícula de 3 a 7 espiguetas solitarias, sésiles o subsésiles, dispuestas en dos hileras en un raquis de 1.5 a 3 mm de largo, usualmente achatado y peludo (CIAT, 1986).

Esta gramínea tiene la cualidad de adaptarse a un rango amplio de condiciones de suelo y clima, desarrollándose desde los suelos subhúmedos y fértiles, hasta los suelos ácidos de baja fertilidad, que están sujetos a sequías estacionales (Seiffert, 1980). La *Brachiaria* se desarrolla en altitudes por debajo de los 2,000 msnm, con precipitación anual mayor a los 750 mm y con estaciones secas de tres a seis meses de duración (Vallejos, 1988).

*B. humidicola* ha demostrado mejor comportamiento en período de mínima precipitación (Hernández *et al.*, 1990). Otro atributo importante de *B. humidicola* es que presenta un nivel de tolerancia relativamente alto a las hormigas cortadoras (CIAT, 1990).

En un estudio realizado en el centro de Pesquisa Agroforestal de Amapá, Brasil, encontraron que la mejor respuesta en producción de *B. humidicola* fue en la época de abril y junio, y la menor fue la época de octubre y diciembre (0.71 y 0.24 t MS ha<sup>-1</sup> respectivamente). La menor producción de forraje coincidió con el período de menor precipitación. Igualmente sucedió con la proteína bruta (PB), 3.8 y 3.4 %, lluvia y sequía, respectivamente (Da Silva *et al.*, 1992).

#### 4.7. Actividad biológica del suelo

La dinámica de los diversos organismos en el suelo depende de las especies (vegetales y animales), factores climáticos, características químicas y físicas del suelo, así como del manejo de las interacciones dentro del sistema.

Teuben y Verhoef (1992), determinaron en un bosque de 70 años de edad de *Pinus nigra* que, la actividad del microcosmo depende de los cambios en temperatura y humedad, de la presencia de raíces, y la composición de la comunidad animal del suelo.

Los organismos vivos, flora y fauna, constituyen el edafón; los restos *postmortem* de animales y vegetales constituyen el humus; estos son sometidos con anterioridad a constantes procesos de descomposición, logrando con esto la mineralización de nutrimentos (Swift *et al.*, 1979; Fassbender, 1994).

#### 4.8. Hongos endomicorrízicos

Haselwandter y Bowen (1996) resaltan que en muchos casos las causas de la baja de fertilidad de los suelos tropicales son el resultado del uso de cultivos intensivos. Las micorrizas pueden ser una vía para incrementar la fertilidad de los suelos.

El término micorriza significa "hongo-raíz"; se define como la asociación simbiótica entre el micelio de un hongo y las raíces de una planta (Honrubia *et al.*, 1992). Las micorrizas son asociaciones simbióticas, mutualistas, que se establecen entre las raíces de las plantas superiores y hongos benéficos del suelo (Fajardo y Barea, 1987). Estos hongos dependen de la planta para el suministro de carbono y energía, a la vez que entregan nutrimentos minerales (Sieverding, 1989).

Todos los hongos formadores de micorrizas pertenecen a la División Eumycota y Subdivisión Zygomycotina (Honrubia *et al.*, 1992). Las micorrizas se clasifican en base a su estructura y morfología en: ectomicorrizas y endomicorrizas (Walker, 1983; Fortin y Carlisle, 1984; Sierverding, 1989).

En las micorrizas ectotróficas se han incluido aquellas en las cuales el hongo, normalmente de micelio tabicado, forma un manto que rodea la raíz. El desarrollo del hongo en el interior de la corteza es intercelular, dando un aspecto

de red (red de Harting). Este tipo de micorriza está muy extendido en las especies forestales. Las ectomicorrizas se encuentran formadas generalmente por hongos basidiomicetos, simbióticos que crecen principalmente en árboles de las familias Pinaceae, Fagaceae, Betulaceae, Salicaceae y algunas especies de la familia Mirtaceae (Sánchez, 1991).

Las endomicorrizas se dividen en varios subtipos: Ectoendomicorrizas, Arbustoides, Monotropoides, Ericoides, Orquides, Orquidáceas y las Arbusculares que son las más comunes. Las micorrizas vesículo arbusculares (MVA) pertenecen al orden Glomales, el cual abarca 125 especies. El suborden *Glomineae* tiene dos familias: *Glomaceae* que comprende los géneros: *Glomus* y *Sclerocytes*; *Acaulosporaceae* con dos géneros: *Acaulospora* y *Entrophospora*. El suborden *Gigasporineae* tiene una sola familia: *Gigasporaceae* tiene dos géneros: *Gigaspora* y *Scutellospora* (Sieverding, 1989; Morton y Benny, 1990). Se acepta que el 90% de las plantas superiores establecen simbiosis con micorrizas del tipo vesículo arbuscular.

De los atributos de las micorrizas se tienen los siguientes: mejoran el crecimiento de las plantas en suelos poco fértiles; aumentan la capacidad de absorción de minerales relativamente inmóviles como el fósforo; mejoran el transporte y absorción del agua en la planta, disminuyen el estrés debido a altas temperaturas, trasplante, desbalance nutricional, etc. y pueden reducir el efecto de la interacción patógeno hospedante (Cuervo y Rivas, 1997).

La planta hospedante provee al hongo de carbohidratos y el hongo le suministra a la planta algunos nutrimentos de poca movilidad en el suelo (Cuenca *et al.*, 1991)

Cualquier alteración de la planta por el ambiente, como elevada oferta de fósforo o nitrógeno, por ejemplo, interfiere en la simbiosis y disminuye los efectos de acción de los hongos (Araujo de, 1995).

Los exudados radicales, especialmente los azúcares, son factores importantes en el desarrollo de las micorrizas vesículo-arbusculares (hongos endomicorrízicos), por lo cual, la intensidad luminosa o la temperatura del suelo, factores fenológicos y aplicaciones de nutrimentos, herbicidas o plaguicidas,

afectan la velocidad de exudación y el tipo de exudados, en consecuencia deben afectar a las micorrizas (García, 1987).

Como ya se ha mencionado anteriormente, la introducción de árboles en potreros tiene un efecto sobre las condiciones climáticas, estos cambios a nivel microclima pueden modificar la actividad biológica.

Se ha observado que los hongos endomicorrízicos pueden ser afectados por la luz. La sombra no solamente reduce la colonización de la raíz y la producción de esporas, sino también hace que la planta responda a los hongos endomicorrízicos (Bagyraj y Manjunath, 1980).

Respecto al pH del suelo, la distribución de micorrizas en el suelo, puede ser directamente afectada. Estudios realizados sugieren que se obtiene una buena germinación de esporas en un amplio ámbito de pH que va de 5 a 8 (Siqueira *et al.*, 1989). Sin embargo, Aggangan *et al.* (1996), trabajando con *Eucalyptus urophylla*, encontraron que la formación de micorrizas no fue afectada por el cambio de pH.

La temperatura ha mostrado una influencia significativa sobre la colonización de hongos endomicorrízicos bajo condiciones de invernadero. Schenck y Kellam (1978), observaron que el máximo desarrollo arbuscular ocurre cerca a los 30 °C, siendo óptima la colonización micelial a temperaturas entre 28 y 34 °C. Daniels y Trappe (1980) observaron que la temperatura óptima de germinación de esporas de *Glomus* y *Acaulospora* es alrededor de 20-25 °C.

#### **4.8.1. Los hongos micorrízicos y el fósforo**

Los efectos más significativos de los hongos MVA, sobre el mejoramiento en el crecimiento de las plantas se observan cuando el fósforo presente en el suelo es bajo. En los suelos tropicales la concentración de fósforo en solución del suelo es normalmente muy baja y alrededor de la zona de crecimiento radical, los iones de fósforo se agotan rápidamente en una distancia de unos pocos milímetros. Debido a la tasa de difusión tan baja el P, esta zona no alcanza a ser aprovisionada adecuadamente. El micelio externo de los hongos endomicorrízicos crece más allá de esta zona e incrementa el volumen del suelo a partir del cual la planta absorbe fósforo (Sieverding *et al.*, 1989).

El fósforo ha mostrado frecuentemente ser inhibidor del desarrollo de las MVA y regulador de la liberación de exudados, principalmente por alteraciones en la fisiología del hospedante (Smith y Gianinazzi-Pearsson, 1988). Bajos niveles de fósforo en los tejidos, han sido asociados con un aumento en la permeabilidad de la membrana, atribuido al descenso en los niveles de fosfolípidos. Esta mayor permeabilidad se ha correlacionado con incrementos en la tasa de exudación de azúcares solubles, aminoácidos y ácidos carboxílicos en plantas deficientes de fósforo en sus raíces, comparados con aquellas altas en fósforo (Schwab *et al.*, 1991).

En ocasiones se ha observado que la fertilización con fósforo reduce los porcentajes de infección, deprime el desarrollo de arbusculos, vesículas, hifas externas e internas y disminuye el número de puntos de penetración y de esporas (Smith y Gianinazzi-Pearsson, 1988; Hetrick *et al.*, 1989; Sieverding, 1991).

Davis y Linderman (1991) observaron que en semilleros de chile (*Capsicum annuum L.*) los incrementos en la aplicación de fósforo redujeron la colonización de raíces, tendencia que Fairchild y Miller (1990) también observaron en maíz. López *et al.* (1983) encontraron que los cafetos que no habían recibido fertilización con fósforo, presentaban frecuentemente los mayores porcentajes de infección micorrízica.

#### 4.8.1.1. Asociación simbiótica de *Acacia mangium*

En los últimos 18 años, se ha visto creciente interés en el uso de hongos micorrízicos como una alternativa para favorecer el crecimiento de *A. mangium* sobre pasturas, a la vez que se reforestan áreas en la región del Pacífico Asiático. *A. mangium* forma, de manera natural, asociación con la bacteria *Rhizobium* y el hongo vesículo arbuscular. Como otras especies de árboles de leguminosas, *A. mangium* puede crecer bien sobre suelos de baja fertilidad, incluyendo los que se encuentran bajo pasturas degradadas. En parte se debe a que mantienen asociaciones simbióticas con organismos presentes en el suelo, como los hongos micorrízicos y *Rhizobium*. Las raíces de los árboles proveen a estos organismos un exceso de carbohidratos y otros metabolitos; así tenemos que las micorrizas y

*Rhizobium* hacen viables para los árboles los nutrientes del suelo como el fósforo y nitrógeno.

La relación de los hongos micorrízicos con las raíces de la *A. mangium* trae consigo varios beneficios: por ejemplo el incremento en el crecimiento de los árboles en plantaciones (de la Cruz y Yantasath, 1993).

*A. mangium* forma asociaciones con hongos endomicorrízicos (de la Cruz y Yantasath, 1980). Las especies que destacan son la *Acaulospora* ssp y *Glomus* spp., todas éstas en suelos ácidos arenosos (pH 4.3 – 5.0). Ocasionalmente han sido observadas hongos ectomicorrízicos, cuerpos fructíferos de la especie *Thelephora ramariodes* en plantaciones de *A. mangium* en Filipinas. Sin embargo, estos hongos probablemente no forman verdaderas asociaciones micorrízicas, ya que no muestran el típico desarrollo, incluyendo la "Red de Harting".

Haselwandter y Bowen (1996) en un estudio de especies de interés agroforestal y silvopastoril encontraron que *A. mangium* es una especie que presenta tanto ectomicorizas como micorizas arbusculares, mientras que otras solo presentan una de éstas.

En suelos de plantaciones forestales de acacias australianas de la zona semi árida de Sudania, Africa, se determinó la abundancia relativa y la diversidad de población de esporas, encontrando un total de diez especies, pertenecientes a cuatro géneros. El género *Glomus* fue el más abundante con seis especies, *Glomus aggregatum*, *G. geosporum*, *G. lamellosum*, *G. manihotis* y dos especies sin identificar. El género *Scutellospora*, presentó dos especies, *S. gragaria* y otra especie sin identificar. El género *Glomus* (80%) mostró una alta proporción de esporas. La *G. aggregatum* fue la especie abundante, con un 61.8% del total de esporas. En contraste, las esporas de *Acaulospora delicata*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora* spp. y la *S. gragaria* contribuyeron solo con 6.7, 3.5, 2.9 y 2.6% del total del número de esporas, respectivamente. La diversidad y la abundancia relativa de las poblaciones de esporas en disolución del suelo se vieron inversamente relacionado a los contenidos de carbono, nitrógeno y materia orgánica. Estos autores mencionan que sus resultados no están de acuerdo con

otros trabajos. También mencionan que aun falta estudiar la influencia del factor suelo y planta y sus interacciones (Bâ *et al.*, 1996)

#### 4.9. Lombrices de tierra

Estas mejoran las propiedades físicas del suelo como resultado de la construcción de galerías y del depósito de los excrementos de estas en el perfil. Existe una correlación positiva entre la densidad de lombrices y el porcentaje de agregados estables en el agua (Coleman, 1986). También mejoran las propiedades químicas y biológicas al ingerir y mezclar con el suelo desechos de origen animal y vegetal que se incorporan a la MO del suelo, distribuyéndolos a lo largo del perfil (Syers y Springett, 1984).

El pH del suelo es un factor importante que condiciona la abundancia de las lombrices de tierra. La población de lombrices es escasa en pH inferiores a 4.0; la mayoría de las lombrices prefieren pH de 6.8 a 7.0 (Burns y Martin, 1986).

Lavalle *et al.* (1987) reportaron que independientemente del tipo de pastura y carga animal utilizada, el 99% de las lombrices correspondieron a *Pontoscolex corethrurus* (familia Glossoscolecidae) lombriz geófaga, abundante en el trópico. El 1% restante lo conforman *Metaphire californica* (familia Megascolecidae especie epigénica).

Ruz-Jerez *et al.* (1992) reportan que, en suelos con lombrices se incrementa hasta un 50% más el N mineral reconvertido (casi 100 mg N kg suelo<sup>-1</sup>) que en los suelos que carecen de ellas. Aparentemente el incremento de la mineralización del N orgánico es el resultado de la actividad de las lombrices (*Lumbricus rubellus* y *Eisenia fetida*). También observaron incrementos significativos en el crecimiento de las plantas. Concluyen que las lombrices contribuyen a un rápido retorno de los nutrientes a la pastura que en aquellos suelos que carecen de ellas.

#### 4.10. El fósforo total (Ptotal)

Después del agua y el nitrógeno, los dos elementos nutritivos limitantes más comunes en los trópicos son probablemente el fósforo y el azufre (Bertsch, 1995).

El fósforo se caracteriza por ser el elemento más estable dentro del suelo. No se pierde por lavado ni por volatilización como el nitrógeno. Sin embargo, esta alta estabilidad implica una baja solubilidad, esto es, que muchos suelos tropicales tienen una alta capacidad para fijar P lo que causa deficiencias de disponibilidad de P para las plantas (Bertsch, 1995).

Los contenidos de fósforo en suelos de áreas tropicales son muy variables. Entre las condiciones edafológicas y ecológicas del suelo, las que principalmente determinan esta variabilidad son el tipo de roca parental presente, el grado de desarrollo de los suelos y el contenido de materia orgánica. En forma localizada, suelos ricos en fósforo total resultan de materiales parentales ricos en fósforo (Bertsch, 1995)

El  $P_{total}$  en la capa arable disminuye con forme aumenta la intensidad de la meteorización. Los suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas presentan un mayor contenido de  $P_{total}$  que los desarrollados de sedimentos meteorizados y redepositados en las áreas bajas tropicales. Así, en Oxisoles y Ultisoles es común que los valores de P total sean inferiores a 200 ppm, mientras que en Andisoles, oscilan entre 1000 y 3000 ppm.

Por otra parte al aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos, aumenta el contenido de fosfatos orgánicos y por lo tanto los contenidos totales llegan a ser mayores. El contenido total también depende de la textura de los suelos y tanto en áreas de clima templado como tropical, entre más fina sea la textura, mayor es el contenido de  $P_{total}$  (Bertsch, 1995).

#### **4.11. Fósforo Orgánico (Porga)**

El Porga generalmente corresponde del 20 al 50% de P total en la capa arable, aunque el rango puede oscilar entre el 3 y el 90%. Los valores más altos corresponden en su mayoría a suelos altamente meteorizados, por ejemplo en Oxisoles y Ultisoles lo común es que represente entre un 60 y un 80%. O sea, entre los factores que determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas dentro del P total está el grado de desarrollo del suelo, aunque también intervienen todos aquellos factores que tienen efecto sobre la materia



orgánica, como son la temperatura, la precipitación, la acidez del suelo y la actividad biológica (Bertsch, 1995).

Para caracterizar el P orgánico se utiliza la relación C:N:P orgánico. Esta relación es muy variable y se consideran niveles promedio adecuados alrededor de 110:9:1. En el trópico estas razones C:P es del orden de 200-300:1, lo que indica frecuentes deficiencias de fósforo (Bertsch, 1995).

#### **4.12. Fósforo inorgánico**

Las formas sólidas de fósforo inorgánico por lo general están divididas en tres fracciones activas y dos relativamente inactivas. Las fracciones activas pueden clasificarse en fosfatos enlazados a Ca (P-Ca), fosfatos enlazados a Al (P-Al) y fosfatos enlazados a Fe (P-Fe). Los P-Ca están presentes como películas o partículas definidas, mientras que los P-Al y los P-Fe se presentan como películas o están absorbidos en las superficies de arcilla y limo. El P-ocluído consiste de compuestos de P-Fe y P-Al rodeados de un revestimiento inerte de otro material que evita la reacción de estos fosfatos con la solución del suelo. Las formas solubles en reducción están cubiertas por un revestimiento que solo puede disolverse parcial o totalmente en condiciones anaerobias (Bertsch, 1995).

#### **4.13. Fósforo adsorbido del complejo coloidal**

Como anión que es, el fosfato está sujeto a fenómenos de adsorción e intercambio aniónico en las superficies coloidales cargadas positivamente. Dentro de los aniones presentes en el suelo, los fosfatos son los que presentan mayor fuerza de retención y hasta son capaces de desplazar al resto (Bertsch, 1995).

#### **4.14. Fósforo disponible en la solución del suelo**

Las cantidades en esta fracción son bajísimas, del orden de menos de 0.2 ppm. Se presenta en las dos formas aniónicas más solubles ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{=}$ ) variando su predominancia según el pH. Entre pH 2 y 7 predomina la forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y entre pH 7 y 12, la forma  $\text{HPO}_4^{=}$  por lo que la forma más común en suelos tropicales es la  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (Bertsch, 1995).

#### 4.15. Adsorción, Fijación y Precipitación del fósforo

Estos son procesos que se presentan en el ciclo del fósforo, la velocidad a la que ocurra cada proceso determina la dinámica del elemento.

La fijación del P como parte de los procesos químicos que ocurren en el suelo, es uno de los aspectos más importantes que se deben considerar para una recomendación de fertilizantes. Se trata de la transformación de fosfatos monocálcicos solubles de Ca, Al o Fe. A esas formas poco solubles se llega por precipitación y reacciones de adsorción con compuestos de Al y Fe, iones de Ca, y coloides cristalinos y amorfos con baja relación sílice/sesquióxidos que se dan en suelos ácidos (Sánchez y Uehara, 1980).

La fijación es determinada por la mineralogía de las arcillas, la cantidad de arcilla, la cantidad de coloides amorfos, la materia orgánica, el Al, Fe, el Ca intercambiable. Los óxidos amorfos (incluyendo la alofana) fijan más que los cristalinos, dentro de los cuales, fijan más las arcillas 1:1, que las 2:1; entre mayor sea el porcentaje de arcilla, más fijación ocurrirá; a medida que la proporción de sílice en la fracción amorfa disminuye con la intemperización mayor es la fijación; y entre mayor sea la cantidad de materia orgánica, existen más posibilidades de que se bloqueen los OH expuestos en las superficies de los óxidos de Fe y Al y, por lo tanto, disminuye la capacidad de fijación de fósforo (Bertsch, 1995).

En resumen Oxisoles y Ultisoles muy ácidos y meteorizados tienden a fijar altas cantidades de fósforo, mientras que suelos menos ácidos con mineralogía de silicatos laminares tienen capacidad de fijación mucho más bajas. Los Andisoles tienen la más alta capacidad de fijación de fósforo, dado su alto contenido de alofana y de óxidos de aluminio.

#### 4.16. Mineralización

La mineralización del P orgánico se desarrolla de acuerdo a un esquema similar al del N-orgánico. A partir de los compuestos polimerizados (nucleoproteínas) se forman compuestos más simples (proteínas, ácidos nucleicos) y luego, por acción de los microorganismos, se libera ácido fosfórico. Se han encontrado aproximadamente 30 especies específicas de microorganismos involucrados en la mineralización del P orgánico. Estos

microorganismos habitan en la rizosfera y producen la liberación de iones fosfatos que pueden ser directamente aprovechados por la planta.

#### **4.17. Adsorción por las plantas**

Las plantas lo que realmente usan son iones de fosfato de la solución del suelo, estas acumulan en sus tejidos alrededor de 2000 ppm. Hay que recordar que para su adsorción, el fósforo se mueve hasta la planta por difusión, por lo que debe buscarse el favorecer este factor (Bertsch, 1995).

La planta favorece la solubilidad del fósforo ya sea por excreción de sustancias orgánicas o por asociaciones micorrízicas. En realidad los requerimientos por las plantas son bajos. Las grandes aplicaciones se deben a problemas de insolubilidad en el suelo (Bertsch, 1995).

## 5. LITERATURA CITADA

- Acciaresi, H.; Ansín, O.E.; Marlats, R.M. 1994. Sistemas silvopastoriles: efectos de la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forraje en rodales de álamo (*Populus deltoides* Marsh). *Agroforestería de las Américas*. s/n:6-9
- Aggangan, N.; Dell, B.; Malajczuk, N. 1996. Effects of soil pH on the ectomycorrhizal response of *Eucalyptus urophylla* seedlings. *New Phytology* 134: 539-546.
- Allard, G.; Nelson, C.J.; Pallardy, S.G. 1991. Shade effects on growth of tall fescue: I Leaf anatomy and dry matter partitioning. *Crop. Sci.* 31:13-167.
- Anderson, T.H.; Ingram, J.S.I. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. Wallingford, U.K.C.A.B. International 221 p.
- Araujo, J. De. 1995. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Paraná Brasil Universidade federal do Paraná / Universidade Estadual do Norte Fluminense / Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná 451 p.
- Ayaraza, M.; Rao, M.; Thomas, R. 1994. Reciclaje de nutrientes en pastizales tropicales de suelos ácidos. *In: Ganadería y recursos naturales en América Central: Estrategias para la sustentabilidad* (1991, San José, Costa Rica) Memorias. ed. E.J. Homan. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 163-173.
- Bâ, A.M.; Dalpé, Y.; Guissou, T. 1996. Les glomales d'*acacia holosericea* et d'*acacia mangium*. *Bois et Forêts des Tropiques* 250(4):5-18.
- Babbar, L.I.; Ewel, J.J. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotropica* 21(1):20-29.
- Bagyaraj, A.; Manjunath,; Reddy, D. 1980. Interaction of vesicular arbuscular mycorrhiza with root knot nematodes in tomato. *Plant and Soil* 51: 397-403.
- Belsky, J.A., 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.
- Berg, B.; Mcclougherty. 1987. Nitrogen release from litter in relation to the disappearance of lignin. *Biogeochemistry* 4:219-224.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. *Asociación costarricense de la Ciencia del suelo* 157 p.
- Brakrim, N.; Echeverría, C.; Créatin, C.; Arrio-Dupont, M; Pierre, J.N.; Vidal, J.; Chollet, R.; Gadal, P. 1992. Regulatory phosphorylation of *Sorghum* leaf phosphoenolpyruvate carboxylase: identification of the protein-serina kinase and some elements of the signal-transduction cascade. *European Journal of Biochemistry* 204:821-830.
- Brundrett, M.; Melville, L.L.; Peterson, L. 1994. Practical methods in micorrhiza research. Canada Mycologue Publications 161 p.
- Budowski, G. 1989. Aplicabilidad de los sistemas agroforestales. Traducida del inglés por Somarriba, E. Turrialba, Costa Rica 8 p.
- Burns, R.G.; Martin, J.P. 1986. Biodegradation of organic residues in soil. *In: Microflora and Faunal Interactions in Natural and Agro-Ecosystems*. M.J. Mitchel; J.P. Naskas (Eds). Dordrecht, Netherlands. M. Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers p. 317-348.

- Centro Internacional De Agricultura Tropical (CIAT). 1986. Programa de Pastos Tropicales. Informe Anual 1985. Cali, Colombia 408 p.
- Centro Internacional De Agricultura Tropical (CIAT). 1990. Programa de Pastos Tropicales. Informe Anual 1990. Cali, Colombia. Documento de Trabajo No. 89. 455 p.
- Coleman, D.C. 1986. The role of microbial and fauna interactions in affecting soil processes. *In: Microflora and fauna interactions in natural and agroecosystems.* M. J. Mitchel; J. P. Naskas (Eds). Dordrecht, Netherlands. M. Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers p. 317-348.
- Combe, J.Y.; Budowski, G. 1979. Classification of traditional agroforestry techniques. *In Workshop On Traditional Agroforestry Systems in Latin America.* Ed. De Salas, G. Turrialba, C.R. CATIE., p. 17-47.
- Cuenca, G.; Herrera, R.; Meneses, E. 1991. Las micorrizas vesículo arbusculares y el cultivo de cacao en Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 42: 153-159.
- Cuervo, J.; Rivas, P.G.G. 1997. Micorrizas. Hoja técnica. MIP-CATIE 20:i-iv.
- Da Silva, S.A.P.; Dutra, S.; Serrao, E.A.S. 1992. Produtividade estacional e composição química de *Brachiaria humidicola* e pastagem nativa de Campo Cerrado do Estado do Amapá, Brasil. *Pasturas Tropicales* 14(1):11-16.
- Daniels, B.A.; Trappe, J.M. 1980. Factors affecting spore germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia* 72: 457-471.
- Davis, F.; Linderman, R. 1991. Short term effects of phosphorus and VA Mycorrhizal fungi on nutrition, growth and development of *Capsicum annum* L. *Scientia Horticulturae* 45: 333- 338.
- De la Cruz, R.E.; Yantasath, K. 1993. Capítulo 6. *In: Symbiotic associations. Acacia mangium* Growing and Utilization. Eds. K. Awang y D. Taylor. Bangkok, Tailandia p. 101-111.
- Doncaster, H.D.; Leegood , R.C. 1987. Regulation of phosphoenolpyruvate carboxilase activity in maize leaves. *Plant Physiology* 84:82-87.
- East, R.M.; Felker, P. 1993. Forage production and quality of 4 perennial grasses grown under and outside canopies of mature *Prosopis glandulosa* Torr. var *glandulosa* (mesquite). *Agroforestry Systems* 22:91-110.
- Fairchild, G.L.; Miller, M.H. 1990. Vesicular-Arbuscular mycorrhiza and the soil disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize, III. Influence of P amendments to soil. *New Phytologist*: 641-650
- ✓ Fajardo, R; Barea, J. 1987. Micorrizas VA en árboles y arbustos. *Anales de Edafología y Agrobiología* (46)1-2: 229-246.
- Fassbender, H.W.; Bornemisa. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina, 2ª ed. , San José, Costa Rica, IICA 420 p.
- Fisher, R.F. 1995. Amelioration of degraded Rain Forest soils by plantations of native trees. *Soil Science Society American Journal* 59:544-549.
- Fortin, J; Carlisle, A. 1984. The use of root symbiosis in intensive forestry report No. 4. 1984, Biomass Growth and Production an ENFOR, Environment Canadá. Canada forestry service. Quebec, Canadá 96 p.
- García, M.T. 1987. Ecología de las raíces. *Revista Mexicana de Fitopatología* 5(2): 128-135.

- Giraldo V. L.; Botero, J.; Saldarriega, 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 de las Américas* 2 (5):4 -5
- Halenda, C. 1990. Nutrient content of *Acacia mangium* plantation. *Nitrogen Fixing Tree Research Report* 7:46-48.
- ✓Haselwandter, K.; Bowen, G. 1996. Mycorrhizal relation in trees for agroforestry and land rehabilitation. *Forest Ecology and Management* 81:1-17.
- Hernandez, T.; Valles, B.; Castillo, E. 1990. Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Pasturas Tropicales* 12: 29-33.
- Hetrick, B.A. Wilson, G.W.; Owensby, C.E. 1989. Influence of mycorrhizal fungi and fertilization on big bluestem seedling biomass. *Journal of Range Management* 42(3): 213- 216.
- Honrubia, M; Torres, P.; Díaz, G.; Cano, A. 1992. Manual para micorrizar plantas en viveros forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España, Universidad Murcia. 85 p.
- Houghton, R.A.; Skole, D.L.; Lefkowitz, D.S. 1991. Changes in the landscape of Latin América between 1850 and 1985. II. Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Forest Ecology and Management* 38:173-199.
- ✓Howeler, R.H.; Sieverding, E.; Saif, S. 1987. Practical aspects of micorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant and Soil* 100:249-283.
- 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, The Netherlands. Wageningen Agricultural University 129 p.
- INPE, 1990. (Instituto de Pesquisas Especies). Avaliação da alteração de cobertura florestal na Amazonia Legal utilizando sensoramento remoto orbital. Sao Jose dos Campo, Brasilia 54 p.
- Jarvis, P.G. 1991. Preface. *Forest Ecology and Management* 45:1-3.
- Jiao, J.A.; Chollet, R. 1991. Posttranslational regulation of phosphoenolpyruvate carboxylase in C<sub>4</sub> and Crassulacean acid metabolism plants. *Plant Physiology* 95:981-985.
- Kephard, K.D.; Buxton, D.R. 1993. Forage quality responses of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> perennial grasses to shade. *Crop. Sci.* 33:831-837.
- Lavalle, P.; Barois, I.; Cruz, I.; Fragoso, C.; Hernández, A.; Pineda, A.; Rangel, P. 1987. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethurus* (*Glossoscolecidae*, *Oligochaeta*) a peregrine geophagus earthworm of the humid tropics. *Biology and Fertility of Soils* 5:188-194.
- Leakey, R. 1996. Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry Today*. Enero-Marzo: 5-7.
- Lopez, E.S.; Oliveira, E.; Dias, R.; Schenck, N.C. 1983. Occurrence and distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.). *New Phytologist* 117: 649-655.
- Ludlow, M.M. 1980. Stress physiology of tropical pasture plants. *Tropical Grasslands* 14 (3):136-145.

- Monteiro, Da C.C.M.; De Lucas, E.D.; Souto, M.S. 1974. Estudio de seis especies forrageiras do género *Brachiaria*. Pesquisa Agropecuaria Brasileira Serie Zootecnia 9(3):17-20.
- Monteith, J.L.; Ong, C.K.; Corlett, J.E. 1991. Microclimatic interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45:31-44.
- Morelo, J.H. 1972. Modelo de relaciones entre pastizales y leñosas colonizadoras en el Chaco-Argentino. *Plan, Ecología, Difusión y Control del Vinal*. *Idia*. 276:31-52.
- Morton, J.B.; Benny, G.L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (zigomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, *Glomineae* and *Gigasporinaes*, and two new families, *Acaulosporaceae*, and *Gigasporaceae*, with an emendation of *Glomaceae*. *Mycotaxon* 37:471-491.
- Name, B.; Batista, D. 1979. Encalado en suelos ácidos de Panamá con alto contenido de Al intercambiable. *Ciencia Agropecuaria* 2:1-13.
- Name, B.Y.; Smyth, T.J.; Márquez. 1991. Dinámica del potasio en un Ultisol de Panamá. *Ciencia Agropecuaria* 7:9-23.
- National Academy Science (NAS). 1983. *Acacia mangium* and other acacias of the humid tropics. National Academy Press.
- National Academy Science. 1983 b. Wood products and uses. *In: Mangium and Other Fast-Growing Acacias for the Humud Tropics*. Eds. National Academy Science, Washinton, D.C. p. 21-23.
- Nicholas, I.D. 1988. Planting in tropical and subtropical areas. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22(23):465-482.
- Palm, C.A.; Sánchez, P.A. 1990. Descomposition and nutrient release patterns of the leaves of thre tropical legumes. *Biotropica* 22(4):330-338.
- Pashanasi, B; Lavalle, P; Alegre, J y Chrpentier, F. 1996. Effect of the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* on soil chemical characteristics and plant growth in a low-input tropical agroecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 28(6):801-810.
- Peralta, A.M.; Ramos, A.S., 1988. Diagnóstico de los sistemas de producción bovina en el trópico de México. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Pezo, D.; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. En 1er. Foro Internacional sobre "Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales", Veracruz, México, 7-9 noviembre 1996. Morelia, México. FIRA- Banco de México 39 p.
- 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 (Eds) Avances en la Producción de Leche y Carne en el Trópico Americano*, pp 47-98. . FAO, Oficina regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile.
- Pinyopusarerk, K.; Liang, S.B.; Gunn, B.V. 1993. Taxonomy, distribution, biology, and use as an exotic. *In: Acacia mangium growing and utilization*. Awang, K. y Tylor, D. (Eds). Winrock International and the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Bangkok, Thailand 280 p.

- Ramirez, A; Sere, C., 1988. *Bachiaria decumbens* en el caqueta; Adopción y uso en ganaderías de doble propósito. Documento Preliminar. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Rundel, P.W.; Nilson, E.T.; Sharifi, M.R.; Virginia, R.A.; Jarrell, W.M.; Kohl, D.H.; Shearer, G.B. 1982. Seasonal dynamics of nitrogen cycling for a Prosopis woodland in the Sonoran Desert. *Plant and Soil*. 67:343-353.
- Ruz-Jerez, B.E.; Ball, R.P.; Tillman, R.W. 1992. Laboratory assessment of nutrient release from a pasture soil receiving grass or clover residues, in the presence or absence of *Lumbricus rubellus* or *Eisenia fetida*. *Soil Biology and Biochemistry* 24(12):1529-1534.
- Salinas, J.G.; 1987. Experiencias sobre recuperación de tierras degradadas con pasturas en el trópico húmedo. *In: Taller sobre establecimiento, mantenimiento, y producción de pasturas en la selva Peruana*. C.A. Duran; J.G. Salinas; R. Schaus (Eds). Memorias. INIAA-IVITA-CIAT. CIAT. Cali, Colombia p. 161-186.
- Sanchez, M. 1991. La simbiosis micorriza vesículo-arbuscular (MVA) en soya *Glycine max* (L) Merrill. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. *Boletín Técnico* 2:53.
- Sánchez, P. 1995. ¿Hacia a donde va la agroforestería? *Agroforestería de las Américas* 2(5):4-5.
- Sánchez, P.A. 1995. Science in agroforestry. *In: Agroforestry Systems* 30:5-55.
- Sánchez, P.A.; Uehara, G. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. *In The role of phosphorus in agriculture*. Madison, Wis., ASA-CSSA-SSSA. p. 475-478.
- Schenck, N.C.; Kellam, M.K. 1978. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on disease development. University of Florida, Gainesville. Agricultural Experiment Stations Institute of Food and Agricultural Sciences. Bulletin 798. October 1978. p. 1-15.
- Schwab, S.M.; Menge, J.A.; Tinker, P.B. 1991. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytologist* 117: 387-398.
- Seiffert, N.F. 1980. Gramíneas forrageiras do género *Brachiaria*. EMBRAPA-CNPQC, campo Grande, MS., Brasil Circular técnica No 1. 83p.
- Serrao, E.A.S. 1991. Sustainability of pastures replacing forests in the Latin American humid tropics: The Brazilian Experience. Paper presented at the DESFIL humid tropical lowlands conference held in Panama City, June 17-21. 26 p.
- Sieverding, E. 1989 b. La micorriza un componente biotecnológico en la producción forestal. *Ciencia y Tecnología* 7(1) 9-11.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical cooperation, Federal Republic of Germany. Eschborn. Schriftenreihe der GTZ. No. 224. 371 p.
- Sieverding, E; Sanchez, M.; Bravo, N. 1989. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia, Facultad de Ciencias Agronómicas. 275 p.
- Singh, K.; Chauhan, H.S.; D.K. Raput, D.K.; Singh, D.V. 1989. Report of a 60 month study chemical properties and productivity under Poplar (*P. deltoides*)



- and Eucalyptus (*E. hybrid*) interplanted with aromatic grasses. *Agroforestry Systems* 9:37-45.
- Siqueira, J.O.; Colozzi-Filho, A; Oliveira E. 1989. Ocorrência de nódulos vesicular-arbusculares em agro-ecossistemas naturais do Estado de Minas Gerais. *Pesq. Agropc. Bras.*, Brasília. 24(12):1496-1506.
- Smith, S.E.; Gianinazzi-Pearson, V. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39: 221-244.
- Somarriba, E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19: 233-240.
- Srivastava, P.B.L. 1993. Silvicultural practices. *Acacia mangium* Growing and Utilization. Eds. K. Awang y D. Taylor. Bangkok, Tailândia. p. 113-128.
- Swift, M.J.; Heal, O.W.; Anderson, J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. California, California University Press, 372 p.
- Swift, M.J.; Russell-Smith, A.; Perfect, T.J. 1981. Decomposition and mineral nutrient dynamics of plant litter in a regeneration bush-fallow subhumid tropical Nigerian. *Journal Ecology* 69:981-995
- ✓ Syers, J.K.; Springett, J.A. 1984. Earthworms and soil fertility. *Plant and Soil* 76:93-104.
- Szott, L.T.; Fernandes, C.M.; Sanchez, P.A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45:127-152.
- ✓ Teuben, A.; Verhoef, H.A. 1992. Relevance of micro and mesocosm experiments for studying soil ecosystem processes. *Soil Biology and Biochemistry* 24(11):1179-1183.
- Tian, G. Kang, B.T.; Brussaard, L. 1992. Effects of chemical composition on N, Ca, and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry and fallow plant species. *Biogeochemistry* 16:103-119.
- Toledo, J.M. 1982. Objetivos y organización de la red internacional de evaluación de pastos tropicales. *In: Manual para la evaluación de pastos tropicales. In: de evaluación de pastos tropicales. De. J.M. Toledo. Cali, Colombia, CIAT. p. 13-21.*
- Tsai, L.M. 1992. Research on growth and yield, litter production, and nutrient cycling in acacias. *In: Tropical acacias in East Asia and the Pacific: proceeding. Eds. K Awang and D Taylor. Bangkok, Tailândia, Winrock International/FAO. p 72-75.*
- Usuda, H. 1985. Changes in levels of intermediates of the C<sub>4</sub> cycle and reductive pentose phosphate pathway during induction of photosynthesis in maize leaves. *Plant Physiology* 78:859-864
- 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.
- Walker, C. 1983. Taxonomic concepts in the Endogonacea: spore wall characteristics in species descriptions. *Micotaxon* 18:433-455.
- Wiersum, K.F.; Ramlan, A. 1982. Cultivation of *Acacia auriculiformis* on Java, Indonesia. *Commons. Forest Rev.* 61:135-144.
- Williams, J.; Chartres, C.J. 1991. Sustaining productive pastures in the tropics. 1. Managing the soil resource. *Tropical Grasslands* 25:73-84.

Young, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. CAB International/ICRAF. Nairobi. 276 p.

## ARTICULO I

Producción forrajera de *Brachiaria humidicola* sola y en un sistema silvopastoril con *Acacia mangium*, en el trópico húmedo de Panamá.

**Palabras claves:** hoja, tallo, radiación, humedad del suelo, área basal, densidad arbórea, suelos ácidos.

### 1. INTRODUCCION

La deforestación y la degradación del medio ambiente, son la mayor preocupación de los ecosistemas tropicales; integrar pasturas en plantaciones forestales es una opción para incrementar la eficiencia de los sistemas de uso de la tierra en áreas del trópico (Toledo y Torres, 1990; Sánchez, 1995a). Esta es una práctica que ha sido empleada en la región del Mediterráneo con árboles de usos múltiples, incluyendo árboles de olivo (*Olea europea*), algarrobo (*Ceratonia siliqua*), robles y pinos (Braziotis y Papanastasis, 1995).

En América Latina, en donde la ganadería ejerce presión sobre áreas boscosas (Sánchez, 1995b), los sistemas silvopastoriles (SSP) procuran equilibrar la integración del uso de pasturas, árboles y animales para mejorar la eficiencia del sistema de producción.

La combinación de especies leñosas con pasturas y animales (Combe y Budowski, 1979) influyen las características del sitio (Saxena *et al.*, 1996; Rhoades, 1995), ya que la presencia de una planta cambia el ambiente de sus vecinos y algunas interacciones entre las plantas presentan un resultado positivo (Anderson y Sinclair, 1993).

Uno de los aspectos más influyentes en los SSP es la densidad de árboles, ya que la competencia entre especies por agua, nutrientes y luz es una relación que puede inducir la baja en la producción del cultivo, productividad de forraje y crecimiento del árbol (Rao *et al.*, 1991; Chamshama *et al.*, 1992; Hawke, 1991; Garrison y Pita, 1992).

Las plantas al desarrollarse bajo los árboles disponen de menores cantidades de luz y no siempre satisfacen las necesidades fisiológicas para una

óptima producción; esto difiere dependiendo de la especie; así se observa que las especies  $C_4$  y las  $C_3$  requieren de 100 y 20  $\text{cal}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  respectivamente, para lograr una producción óptima (Morelo, 1972). Las condiciones de luz provocan cambios morfológicos y fenológicos en las especies forrajeras; estos mecanismos ayudan a la planta adaptarse a la cantidad incidente de energía lumínica (Sanderson *et al.*, 1991). Existen otros factores que afectan la cantidad y calidad de luz estos son: la magnitud de la plantación, la arquitectura de la leñosa perenne, la altura de la copa e inclusive la orientación de la plantación arbórea (Reynolds, 1995).

La capacidad de acceder a la radiación de muchas pasturas tropicales depende de una habilidad limitada a tolerar o aclimatarse a la sombra, ya que la mayoría son plantas de "sol" (Ludlow, 1980).

Entre las forrajeras que han mostrado tolerancia media a la sombra Wong (1991) incluye *B. humidicola*, que además ha mostrado responder mejor a condiciones de mínima precipitación (Hernández *et al.*, 1990). Da Silva *et al.* (1992) encontraron en Amapá, Brasil, una producción de 0.71 t MS  $\text{ha}^{-1}$  de *B. humidicola* en el período de menor precipitación.

Respecto *A. mangium* su popularidad se debe principalmente a la habilidad para establecerse en sitios adversos; esta puede crecer bien en sitios donde se desarrollan pasturas (Cruz de la y Yantasath, 1993), así como retornar cantidades significativas de materia orgánica al sitio y nutrimentos como el N y P (Fisher, 1995).

El objetivo del presente ensayo fue evaluar la productividad de forraje (hoja y tallo) con base en materia seca: 1) de una pradera de *Brachiaria humidicola* sola y asociado con *A. mangium* y 2) la relación entre área basal de *A. mangium* y la producción forrajera *B. humidicola*.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Localización del ensayo

El estudio se realizó entre los meses de noviembre de 1997 a octubre de 1998 en la finca experimental de Calabacito del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), en la provincia de Veraguas, Panamá (8° 5' Lat. N. 81° 5' Long. O., 100 msnm). La precipitación media anual es de 2500 mm, 15% de cual abarca de diciembre a mayo (época seca) y el 85% precipita de junio a noviembre (época húmeda). La temperatura media anual es de 27 °C. El suelo es clasificado como un Ultisol, profundo, ácido, con drenaje regular, de origen ígneo, con pendientes entre 1 y 3%; de color rojo, textura arcillosa (>40% arcilla), pH ácido (<de 5.5), alta concentración de aluminio intercambiable (> 2.5 meq 100 g<sup>-1</sup> suelo) (Name y Batista, 1979), baja capacidad de intercambio catiónico (14 meq 100 g<sup>-1</sup> suelo, de promedio del perfil). Los suelos presentan alta capacidad de fijación de P (Name *et al.*, 1991). Los elementos más deficientes son: P, K, Zn, Ca y Mg (Name y Batista, 1979).

### 2.2. Descripción del área experimental

La pastura y sistema silvopastoril fueron establecidos en julio de 1993, los árboles de *Acacia mangium* Willd fueron plantados a 8 m entre hileras y 3 m entre plantas (417 arb ha<sup>-1</sup>), con orientación 50° Sureste. La altura promedio de la plantación fue de 10.6 m. La pastura *B. humidicola* se sembró en 1994, utilizando estolones (2 ton ha<sup>-1</sup>). Al establecerse se aplicó roca fosfórica en todas las parcelas, a una tasa de 20 kg ha<sup>-1</sup>. En octubre de 1997, se hizo un raleo de árboles para establecer los tratamientos de *A. mangium*: Nd: pradera sola de *B. humidicola*, Bd: baja densidad (120 arb ha<sup>-1</sup>) y Ad: alta densidad (240 arb ha<sup>-1</sup>).

El pastoreo de las parcelas se realizó con un intervalo de 24 días de descanso y 3 de ocupación, con una carga animal de 1 y 2 UA ha<sup>-1</sup>, para la época seca y húmeda, respectivamente (1UA= 400 kg peso vivo).

Las características de humedad del suelo por sistema (Nd, Bd y Ad) y precipitación durante el ensayo, se muestra en la Figura 1.

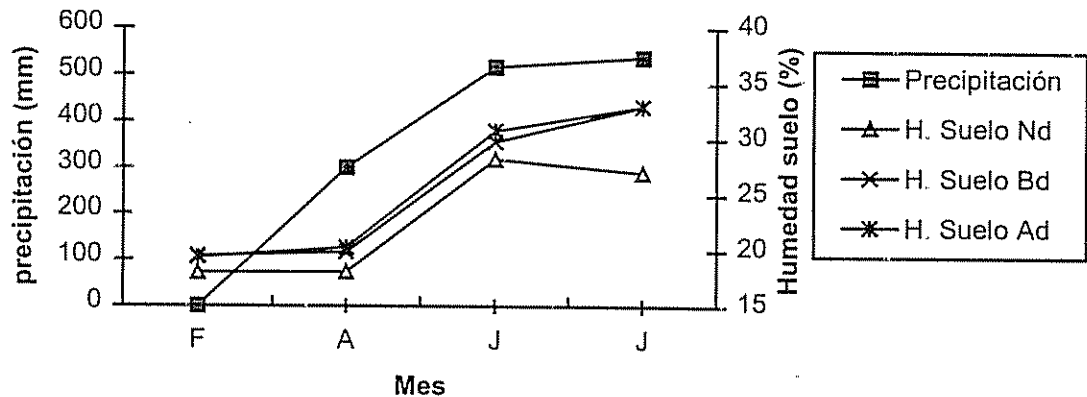


Figura 1. Distribución de la precipitación y de la humedad del suelo (H. suelo) durante los meses de estudio bajo los sistemas de *B. humidicola* sola y en asocio con *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998

### 2.3. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos fueron: 1) *B. humidicola* en monocultivo (Nd), 2) *B. humidicola* + 120 arb de *A. mangium* ha<sup>-1</sup> (Bd) y *B. humidicola* + 240 arb de *A. mangium* ha<sup>-1</sup> (Ad); en un diseño irrestricto al azar con un arreglo en parcelas divididas, el cual constó de dos factores (sistema y época), el factor sistema (parcela grande) tuvo tres niveles: pradera en monocultivo (Nd), 120 (Bd) y 240 (Ad) árboles por hectárea y para el factor época o mes (parcela chica) fueron dos niveles: época seca (febrero-abril) y húmeda (junio y julio), con cuatro repeticiones. En total fueron 12 parcelas, cada una con un área de 2,000 m<sup>2</sup>. La parcela Bd y Ad tuvieron, 24 y 48 árboles, respectivamente.

### 2.4. Variables evaluadas

#### 2.4.1. Producción de forraje con base en materia seca

Antes de cada pastoreo se determinó la materia seca, con la técnica del doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975). En cada sistema se seleccionaron cinco

niveles (referencia real) que representan un incremento en la disponibilidad de forraje; y en cada parcela se tomaron 80 observaciones visuales utilizando un marco metálico de 0.5 x 0.5 m. Una vez terminado el muestro de cada parcela, se cortaron las muestras de los puntos reales a una altura de 5 cm del suelo. Las muestras de cada marco fueron pesadas con una balanza y se tomaron sub muestras de cada uno para la estimación del porcentaje de materia seca (MS)

Con base en la ecuación de regresión (Haydock y Shaw, 1975) y los valores asignados a las muestras visuales se estimó la disponibilidad de forraje ofrecido con la siguiente ecuación:  $Y = a + b(X' - X)$

donde:

$Y$  = Producción estimada de materia seca por 0.25 m<sup>2</sup>.

$a$  = Producción promedio de todas las observaciones reales.

$X'$  = Valor promedio de todas las estimaciones hechas en las observaciones visuales tomadas en cada potrero.

$X$  = Valor promedio de las observaciones visuales correspondientes a cada observación real.

$b$  = Coeficiente de regresión entre observaciones visuales y valores obtenidos para disponibilidad de materia seca en las muestras reales tomadas en cada parcela.

Para la determinación de la proporción hoja, tallo y biomasa muerta, se tomó 600 g de materia verde que fue separada en los componentes señalados. Estos muestreos se realizaron durante los meses de febrero, abril, junio y julio. Realizada la separación, se secaron a 65 °C durante 48 h para su posterior pesaje y determinación del porcentaje de cada una de las fracciones.

#### 2.4.2. Radiación fotosintéticamente activa con y sin *A. mangium*

El flujo de fotones fotosintéticos ( $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) fue medido con un ceptómetro (Decagon Devices Inc<sup>®</sup>. Pullman, Wa, EE.UU.). Las lecturas fueron tomadas entre las 10:00 y 13:00 h, estas corresponden al mismo día en que se midió la producción de forraje. Se recorrió los transectos bajo la copa y fuera de la

copa del árbol en cada una de las parcelas. Para el caso de las parcelas sin árboles se registraron distintas lecturas en un recorrido al azar.

#### **2.4.3. Diámetro a la altura del pecho y área basal**

El diámetro a la altura del pecho (DAP) se midió con una cinta diamétrica a inicio del ensayo. Se midieron doce árboles por parcela arborizada para un total de 96 árboles. Se calculó el área basal por árbol medido dentro de cada parcela, se estimó el promedio, el cual se utilizó como factor para la respectiva densidad de plantación, Bd y Ad, 120 y 240 arb ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### **2.4.4. Análisis estadístico**

Los análisis estadísticos se realizaron por el procedimiento de Análisis de Varianza (SAS, 1995), se realizó el análisis de residuos (Proc Univariate y Proc Discrim) para el factor sistema, influencia de copa y época. Los coeficientes de correlación de Pearson se determinaron utilizando el Proc Corr de SAS (1985).

Las comparaciones entre medias fueron mediante la prueba Tukey (Steel *et al.*, 1997). Para determinar el efecto de época se promediaron los datos para los meses de febrero más abril y junio más julio, que corresponden a la época seca y húmeda, respectivamente.

La relación entre área basal y producción forrajera se analizó mediante regresión utilizando los procedimientos Proc Reg (SAS, 1985) para el modelo lineal.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Producción de forraje de *B. humidicola***

El análisis estadístico para el promedio de materia seca (MS) disponible, muestra que este fue mayor significativamente ( $p < 0.01$ ) para el sistema Nd (1990 kg MS ha<sup>-1</sup> mes) comparada con Bd (1509 kg MS ha<sup>-1</sup> mes) y Ad (1425 kg MS ha<sup>-1</sup> mes), pero no se observó diferencias entre los dos sistemas con *A. mangium*.



En la figura 2 se presentan los datos sobre la producción de MS medida en los diferentes sistemas y en los meses de muestreo. El análisis estadístico detectó interacciones ( $p < 0.001$ ) del sistema x mes de muestreo. En los meses de pastoreo la producción de MS en Nd fue mayor a los otros sistemas en un 21 y 35%, Bd y Ad, respectivamente, excepto para el mes de abril en que se observó niveles de producción similar para los tres sistemas. En febrero y julio la producción de MS fue mayor significativamente ( $p < 0.01$ ) para Bd comparado con Ad, pero no se encontró diferencias en los otros meses

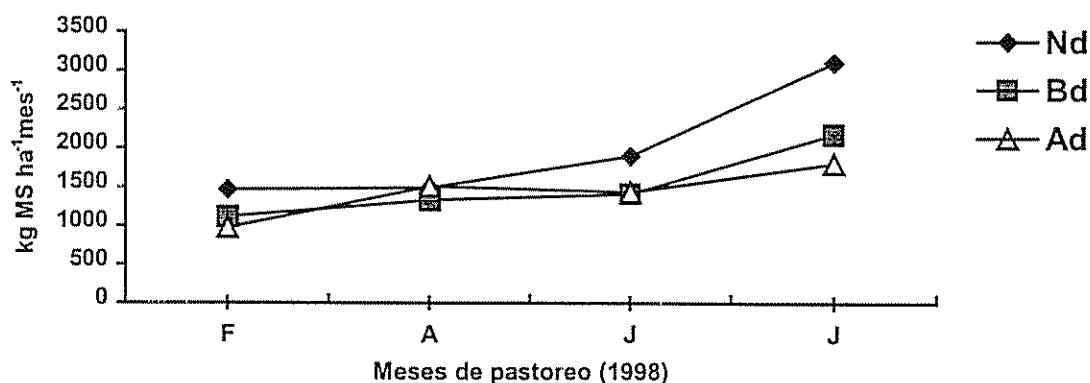


Figura 2. Producción de forraje por sistema, durante los meses de pastoreo. Veraguas, Panamá, 1998.

### 3.2. Hojas-Tallos y biomasa muerta

En promedio la producción de MS de hojas verdes en Bd fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) comparada con Nd, pero no se encontró diferencias significativas entre los sistemas Bd y Ad. Los promedios de producción de la biomasa verde de hojas fueron un 4 y 17% mayor en Bd comparado con Ad y Nd (Cuadro 1). Se tuvo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los sistemas mencionados, con mayor producción de hojas verdes en los sistemas Ad y Bd durante febrero y abril comparadas con Nd. Sin embargo en julio la producción de hojas verdes de Nd y Bd superaron a Ad en 17 a 19%, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre sistemas en la producción de hojas para el mes de junio (Figura 3).

La producción promedio de MS de tallos fue similar para los tres sistemas (cuadro 1), sin embargo en los meses de pastoreo se observó diferencias

significativas ( $p < 0.05$ ) entre sistemas. En el mes de abril, se observó mayor cantidad de tallos en asocio con árboles comparadas con ND, por lo contrario en julio se observó mayor producción de tallos en Nd que fue significativamente ( $p < 0.05$ ) diferente comparada con Ad (Figura 3).

La relación hoja tallo (RHT) tuvo un promedio significativamente mayor para Ad comparado con Nd, pero sin detectarse diferencias entre sistemas (Cuadro 1). En todos los meses de pastoreo se encontró mayor RHT en los sistemas con árboles; en junio y julio la RHT fue mayor para Bd comparadas con Ad, pero las diferencias no fueron significativas (Figura 3).

La cantidad de material muerto observado con el tratamiento Nd fue significativamente ( $p < 0.01$ ) mayor en un 63 y 73%, que Bd y Ad, respectivamente (cuadro 1), y estas diferencias fueron significativas ( $p < 0.05$ ). La cantidad de biomasa muerta varía poco en los meses de pastoreo, excepto en julio en que aumentó, siendo este efecto más marcado para Nd. En los sistemas arborizados fue en julio donde se presentó una mayor cantidad de biomasa muerta en Bd comparada con Ad (Figura 4).

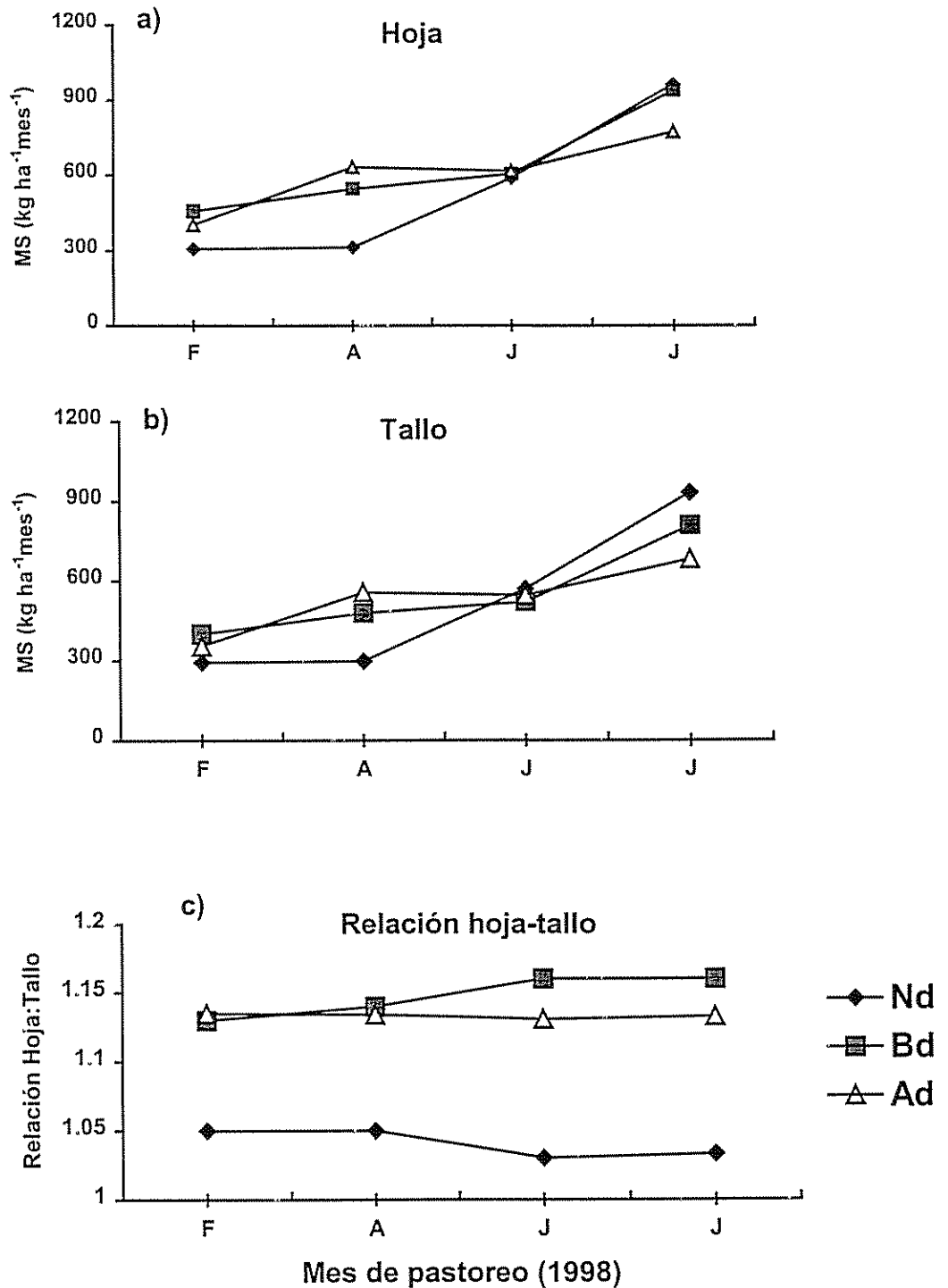


Figura 3. Producción de hojas (a), tallos (b) y relación hoja:tallo (c) del forraje disponible de *B. humidicola* en monocultivo (Nd) y en asocio con *A. mangium* (Nd=0, Bd=120 y Ad=240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998.

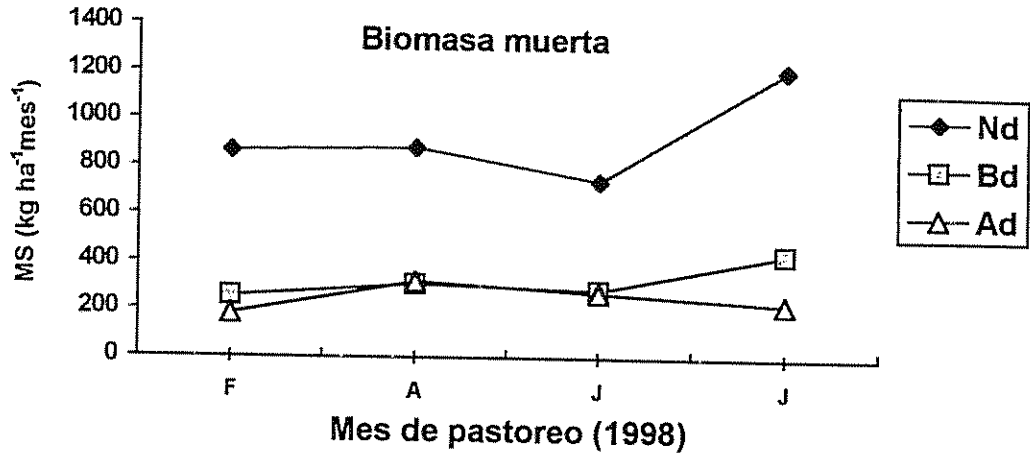


Figura 4. Producción biomasa muerta del forraje disponible de *B. humidicola* en monocultivo (Nd) y en asocio con *A. mangium* (Nd=0, Bd=120 y Ad=240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998.

Cuadro 1 Promedios de producción de hoja, tallo y biomasa muerta del forraje disponible de *B. humidicola* en monocultivo (Nd) y en asocio con *A. mangium* (Nd=0, Bd=120 y Ad=240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998.

Sistema	HOJA	TALLO	BIOMASA MUERTA	HOJA:TALLO
kg ha <sup>-1</sup>				
Nd	543 b (±69)	523 a (±68)	924 a (±46)	1.04 b (±0.07)
Bd	636 a (±49)	552 a (±41)	320 b (±19)	1.15 a (±0.08)
Ad	605 a (±31)	534 a (±26)	249 c (±14)	1.13 a (±0.05)

Promedios con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) (Tukey).

### 3.3. Radiación fotosintéticamente activa (RAFA) con y sin *A. mangium*

Durante el ensayo, el promedio de RAFA fue significativamente ( $p < 0.01$ ) mayor en un 26% en la pradera sin árboles ( $1950 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) que en la presencia arbórea ( $1435 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), sin embargo durante la época seca la cantidad de RAFA que incidió sobre la *B. humidicola* en los sistemas arborizados fue menor en un 22% comparado con el monocultivo, lo mismo se observó en la época húmeda, pero la diferencia fue aun mayor, lo que representó un 30% más

de RAFA incidente sobre la *B. humidicola* en monocultivo comparado con el sistema arborizado (Cuadro 2).

**Cuadro 2. RAFA promedio por época y durante el ensayo, en el sistema de *B. humidicola* en monocultivo (sin *A. mangium*) y en asocio con *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998.**

Sistema	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		
	Epoca seca	Epoca húmeda	Ensayo
Sin <i>A. mangium</i>	1690 a ( $\pm 51.9$ )	2210 a ( $\pm 15.7$ )	1950 a ( $\pm 65$ )
Con <i>A. mangium</i>	1309 b ( $\pm 202.9$ )	1538 b ( $\pm 90$ )	1436 b ( $\pm 112$ )

Promedios con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p < 0.01$ ) (Tukey).

### 3.4. Relación área basal: producción de forraje verde con base en materia seca (MS)

El modelo de regresión muestra una relación lineal ( $p < 0.007$ ,  $r^2 = 0.50$ ) entre el área basal y la producción de MS disponible de *B. humidicola* en la época húmeda, sin embargo, no se detectó una relación significativa entre estas variables para la época seca (Figura 5). El área basal promedio para los sistemas fue  $B_d = 5.18 (\pm 0.21)$  y  $A_d = 10.27 \pm 0.65 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ .

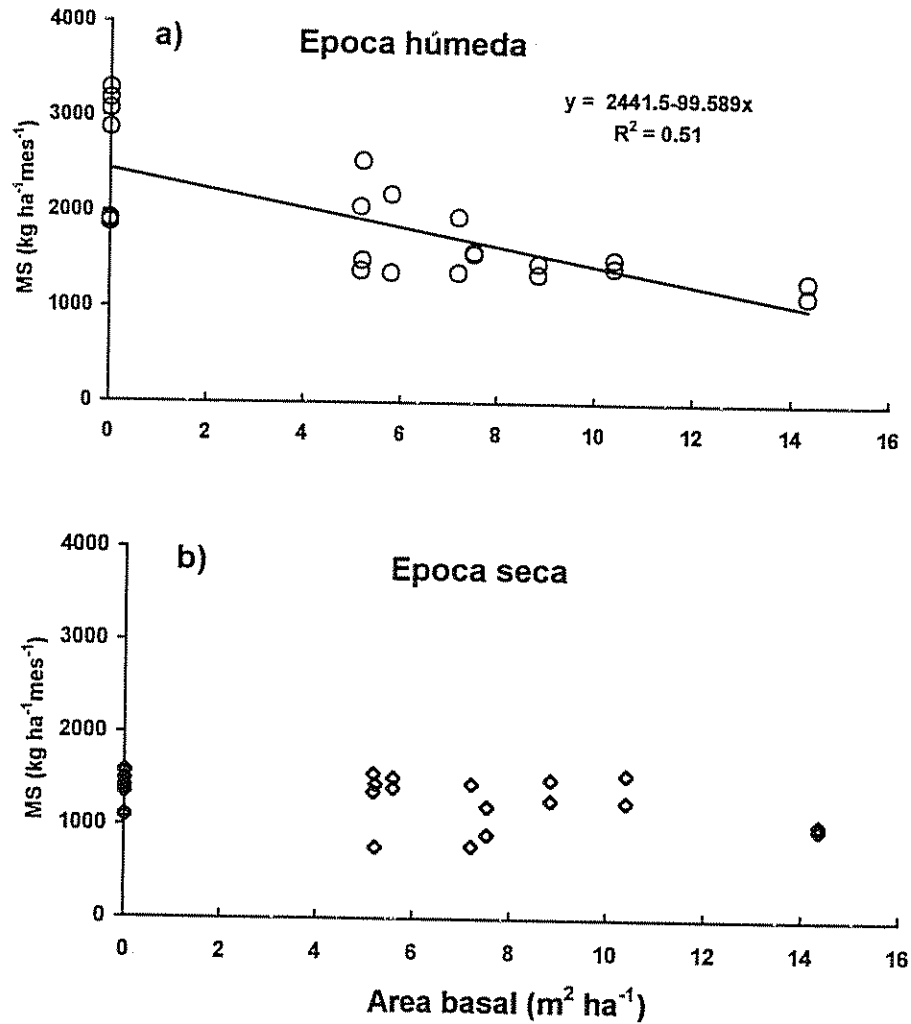


Figura 5. Relación área basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) de *A. mangium*: producción de forraje verde disponible de *B. humidicola* con base en materia seca, ajuste en la época húmeda (a) y seca (b) con el modelo lineal. Veraguas, Panamá, 1998.

#### 4. DISCUSION

La producción de MS disponible en las parcelas de *B. humidicola* sola fue mayor que en los sistemas silvopastoriles, esta diferencia puede estar relacionada con una reducción en la cantidad de RAFA que se detectó en el SSP. Esto es soportado por Ward y Woolhouse (1986) quien reporta que las plantas  $C_4$ , como lo es *B. humidicola* presentan una tasa fotosintética alta ( $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), que en condiciones de arborización se ve limitada en capturar RAFA (Ludlow y Wilson, 1971 a; Ludlow y Wilson, 1971 b; Ng et al., 1975; Monteith *et al.*, 1991). Por lo tanto, al disponer de menor RAFA en los sistemas silvopastoriles la producción forrajera por sistema se vio disminuida y, esto se ratifica al observar que Bd es mayor que Ad.

En estudios agronómicos realizados con especies de pastos mejorados en suelos clasificados como Typic Humitropept del trópico húmedo de Costa Rica, Bustamante (1991) encontró mayor producción ( $1957 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ mes}^{-1}$ ) de *B. humidicola* en asocio con *Erythrina poeppigiana* comparadas a pleno sol ( $1632 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ), sin embargo cabe mencionar que los árboles de *E. poeppigiana* fueron manejados con podas cada seis meses que permitió una alta incidencia de radiación en las parcelas del pasto.

Las diferencias de producción fueron menores en la época seca comparada con la húmeda. En los sistemas silvopastoriles se detectó mayor humedad del suelo comparado con las parcelas a pleno sol y esto sin duda contribuyó a que la pastura mantuviera un alto nivel de producción, especialmente en la época seca. En este sentido otros autores muestran que el árbol contribuye en mayor humedad al suelo y este efecto se marca en la época seca (Saxena *et al.*, 1996) donde también puede existir una competencia por agua entre el árbol y la gramínea, lo que puede conducir a una eventual declinación en la producción (Monteith *et al.*, 1991; Garrison y Pita, (1992, East y Felker, 1993).

En la época húmeda al no existir estrés hídrico, la principal limitante en la producción de materia seca aparentemente estuvo relacionado con la cantidad de

RAFA (Ludlow y Wilson, 1971 c; Ng et al., 1975) Garrison y Pita, (1992) reportan que una posible competencia por agua entre el árbol y la gramínea pueden conducir a declinar la producción del cultivo.

Es importante resaltar que a pesar de la mayor producción de biomasa total en monocultivo de *B. humidicola*, la producción de hoja verde fue similar o mayor para los sistemas silvopastoriles, excepto con Ad en el mes de julio. En estos sistemas se ha encontrado una mayor concentración de fósforo (Velasco, 1998) y N (Bolivar, 1998) que aparentemente promovió mayor producción de rebrotes y producción de hojas que son de mayor consumo que los tallos (Poppi et al., 1981). Este tiene marcada importancia en la producción animal tomando en cuenta que la *B. humidicola* es una especie menos palatable que otras *Brachiarias* como *B. brizantha* o *B. decumbens*. La mayor relación hoja:tallo de la *B. humidicola* se observó bajo los sistemas silvopastoriles, esto puede estimular el incremento en consumo de pasto considerando que existe relación positiva entre el consumo de materia seca y la cantidad de hojas verdes (Humphreys, 1991).

*B. humidicola* se caracterizó por una alta proporción de biomasa muerta en los sistemas de monocultivo, esto coincide con lo reportado Ng et al. (1975) que mencionan que hasta un 40% de muerte foliar es posible encontrar a los 30 días de rebrote, estos resultados son similares a los reportados por Mesquita et al. (1994), por lo que la humedad del suelo es determinante para la producción forrajera.

Estudios realizados con *Cynodon nlemfuensis* bajo condiciones de trópico húmedo en Turrialba, también muestran que la pastura tuvo una alta biomasa muerta de las hojas (Hurtado, 1988).

El efecto del niño provocó una sequía prolongada en Panamá y durante los meses secos existe una alta tasa de senescencia como un mecanismo para sobrevivir al estrés hídrico (Saxena et al., 1996), esto puede explicar la alta presencia de hojas muertas observado en el monocultivo de *B. humidicola*. Por otro lado en los sistemas arborizados, el mayor contenido de humedad puede



explicar la mayor producción de hojas verdes y RHT que se observó en este estudio.

El análisis de regresión muestra que la producción de MS durante la época seca estuvo linealmente relacionada con el área basal de los árboles de *A. mangium*, pero en la época seca no se detectó ninguna relación entre estas variables. Cabe mencionar que los valores de área basal se agruparon entre 4 y 9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, debido a que solo fueron dos densidades de árboles y esto puede ser una crítica del modelo, ya que estudios realizados por Gallo (1998) en sistemas silvopastoriles de *Pinus caribae* y *Panicum maximun* muestran que el modelo exponencial se ajustó mejor a la producción de materia seca con el área basal del árbol; según el autor los modelos lineales tienden a sub estimar la producción de materia seca de la pastura a pleno sol (intercepto).

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la producción de materia seca disponible disminuyó en los sistemas con *A. mangium*.

La producción de hojas verdes y de tallos durante la época seca la fue mayor para los sistemas arborizados comparado con *B. humidicola* a pleno sol, observándose lo contrario en la época húmeda.

La relación área basal de *A. mangium* respecto a la producción forrajera presentó una respuesta lineal en la época húmeda, a mayor área basal menor producción de forraje, respuesta que no se observó en la época seca. Es pertinente hacer notar que el modelo posiblemente sub estima la producción a pleno sol.

## 6. LITERATURA CITADA

- Anderson L.S.; Sinclair, F.L. 1993. Ecological Interactions in agroforestry Systems. *Forestry Abstracts* 54: 459-523 y *Agroforestry abstracts* 2:57-91.
- Bolívar, V.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. (*in press*)
- Braziotis, D.C.; Papanastasis. 1995. Seasonal changes of undertory herbage yield in relation to light intensity and soil moisture content in a *Pinus pinaster* plantation. *Agroforestry Systems* 29:91-101.
- Bustamante, J. 1991. Evaluación de comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poro (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Turrialba, Costa Rica. Tesis de Mag. Sc. CATIE 131p.
- Chamshama, S.A.O.; Monela, G.C.; Sekiete, K.E.A.; Persson, A. 1992. Suitability of the taungya system at north Kilimanjaro forest plantation, Tanzania. *Agroforestry Systems* 17(1):1-11.
- Combe, J.Y.; Budowski, G. 1979. Classification of traditional agroforestry techniques. *In: Workshop On Traditional Agroforestry Systems in Latin America*. De Salas, G. (Ed). Turrialba, C.R. CATIE. p. 17-48.
- Cruz, De La R.E.; Yantasath, K. 1993. *In: Symbiotic associations. Acacia mangium Growing and Utilization*. Eds. K. Awang y D. Taylor. Bangkok, Tailandia. p. 101-111.
- Da Silva, S.A.P.; Dutra, S.; Serrao, E.A.S. 1992. Produtividade estacional e composição química de *Brachiaria humidicola* e pastagem nativa de Campo Cerrado do Estado de Amapá, Brasil. *Pasturas Tropicales* 14(1):11-16.
- East, R.M.; Felker, P. 1993. Forage production and quality of 4 perennial grasses grown under and outside canopies of mature *Prosopis glandulosa* Torr. Var. *glandulosa* (mesquite). *Agroforestry Systems* 22:91-110.
- Fisher, R.F. 1995. Amelioration of degraded Rain Forest soils by plantations of native trees. *Soil Science Society American Journal* 59:544-549.
- Gallo, L.C. 1998. Crecimiento de *Panicum Maximum* bajo *Pinus caribea*: relaciones dosel pradera. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sci. CATIE. (*in press*)
- Garrison, M.; Pita, M. 1992. An evaluation of silvopastoral systems in pine plantations in the Central Highland of Ecuador. *Agroforestry Systems* 18:1-16.
- Hawke, M.F. 1991. Pasture production and animal performance under pine agroforestry in New Zeland. *Forest Ecology and Management* 45:109-180
- Haydock, K.P.; Shaw, N.H. 1975. The comparative method for estimating dry

- matter yield of pasture. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandary 15:169-171.
- Hernandez, T.; Valles, B.; Castillo, E. 1990. Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Veracruz, México. Pasturas Tropicales 12: 29-33.
- Humphreys, L.R. 1991. Tropical pasture utilisation. Cambridge University Press. Cambridge (UK) 202 p.
- Hurtado, J.A. 1988. Introducción de leguminosas y manejo del pastoreo en praderas degradadas de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 107p.
- Ludlow, M.M.; Wilson, G.L. 1971 a. Photosynthesis of tropical pasture plants. I Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature, and leaf-air vapour pressure difference. Leaf age. Australian Journal Biology and Science 24:449-470.
- Ludlow, M.M.; Wilson, G.L. 1971 b. Photosynthesis of tropical pasture plants. II Temperature and illuminance hystory. Australian Journal Biology and Science 24:1065-1075.
- Ludlow, M.M.; Wilson, G.L. 1971c. Photosynthesis of tropical pasture plants. III Leaf age. Australian Journal Biology and Science 24:1077-1087.
- Ludlow, M.M. 1980. Stress physiology of tropical pasture plants. Tropical Grasslands 14 (3):136-145.
- Mesquita, M.; de Paula, V.; Sette, D.; E. de Assis. 1994. Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral del forragem em pastagens de Brachiaria. Revista da sociedade Brasileira de Zootecnia 23(5):709-718.
- Morelo, J.H. 1972. Modelo de relaciones entre pastizales y leñosas colonizadoras en el Chaco-Argentino. Plan Ecología, Difusión y Control del Vinal. Idia. 276:31-52.
- Name, B.; Batista, D. 1979. Encalado en suelos ácidos de Panamá con alto contenido de Al intercambiable. Ciencia Agropecuaria 2:1-13.
- Name, B.Y.; Smyth, T.J.; Márquez. 1991. Dinámica del potasio en un ultisol de Panamá. Ciencia Agropecuaria 7:9-23.
- Ng, T.T.; Wilson, J.R.; Ludlow, M.M. 1975. Influence of water stress on water relations and growth of a tropical (C4) grass, *Panicum maximum* var. Trichoglume. Australian Journal Plant Physiology 2: 581-95.
- Poppi, D.P.; Minson, D.J.; Termouth, J.H. 1981. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. 1. The voluntary intake, digestibility and retention time in the reticulo-rumen. Australian Journal of Agricultural Research 32:99-108.
- Rao, M.R.; Ong, C.K.; Pathak, P.; Sharma, M.M. 1991. Productivity annual cropping and agroforestry system on a shallow Alfisol in semi-arid India. Agroforestry Systems 15:51-63.

- Reynolds, S.G. 1995. Pasture -cattle- coconut systems. Bangkok, Thailand. FAO, Regional Office for Asia and the Pacific.
- Rhoades, C. 1995. Seasonal pattern of nitrogen mineralization and soil moisture beneath *Faidherbia albida* (syn *Acacia albida*) in central Malawi. *Agroforestry Systems* 29:133-145.
- Sánchez, P. 1995 a. ¿Hacia a donde va la agroforestería? *Agroforestería de las Américas* 2 (5):4 -5.
- Sánchez, P.A. 1995 b. Science in agroforestry. *In: Agroforestry Systems* 30:5-55.
- Sanderson, M.A.; Stair, D.W.; Hussey, Ma. 1991. Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. *Advances in Agronomy* 59:171-224.
- SAS, Institute Inc. 1985. SAS user's guide: Statistics. Cary, EE.UU., SAS Institute Inc. 629p.
- Saxena, A.K.; Rana, B.S.; Rao, O.P.; Singh, B.P. 1996. Seasonal variation in biomass and primary productivity of para grass (*Brachiaria mutica*) under a mixed tree stand and in an adjacent open area in northern India. *Agroforestry Systems* 33:75-85.
- Steel, R.D.G.; Torrie, J.C.; Dickey, D.A. 1997. Principles and Procedures of Statistics a Biometrical Approach. 3a (Ed), McGraw-Hill. EE.UU. 666 p.
- Toledo, J.M.; Torres, F. 1990. Potencial of silvopastoral systems in the rain forest. *Agroforestry Systems* 5:97-108.
- Velasco, T.J.A. 1998. Productividad forrajera, aporte de fósforo foliar y dinámica de los hongos endomicorrízicos y lombrices, en una pradera de *Brachiaria humidicola* sola y en asocio con *Acacia mangium*. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- Monteith, J.L.; Ong, C.K.; Corlett, J.E. 1991. Microclimatic interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45:31-44.
- Ward, D.A.; Woolhouse, H.W. 1986. Comparative effects of light during growth on the photosynthetic properties of NADP-ME type C4 grasses from open and shade habitats. 1. Gas exchange, leaf anatomy and ultrastructure. *Plant, Cell and Environment*, 11:343-356.
- Wong, C.C. 1991. Shade tolerance of tropical forages: a review. *In: Shelton, H.M. and Stür, W.W. (Eds). Forages for plantation crops: proceedings of a workshop, Sanur Beach, Bali, Indonesia, 27-29 Junio 1990. ACIAR proceedings series no. 32. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia p. 64-69.*

## ARTICULO II

Contribución de *Acacia mangium* en el aporte de fósforo y la actividad biológica del suelo en una pastura de *Brachiaria humidicola*.

Palabras clave: silvopastoril, hongos endomicorrízicos, lombrices, hojarasca, suelos ácidos, trópico húmedo.

### 1. INTRODUCCION

En los sistemas silvopastoriles (SSP), la introducción de árboles en potreros influye sobre el microclima (Pezo e Ibrahim., 1998), la producción de la pastura (Shelton *et al.*, 1987) y la descomposición de la materia orgánica (Szott *et al.*, 1991). La magnitud del efecto depende del número de árboles por hectárea, la especie leñosa perenne y pasto cultivado. Los cambios en el microclima pueden modificar la actividad biológica del suelo (Syers y Springett, 1984), que es un componente esencial para los ciclos biogeoquímicos de nutrimentos (Belsky *et al.*, 1993; Badia, 1995). Los hongos micorrízicos (Hayman y Mosse, 1971; Rabatin y Stinner, 1989; Joner y Jakobsen, 1995; Haselwandter y Bowen, 1996) y las lombrices son importantes para incrementar la producción de biomasa vegetal e inducir cambios en el suelo (físicos y químicos) que afectan a todos los organismos que lo habitan, inclusive las raíces. Por lo tanto, deben ser integrados dentro de las estrategias de manejo para el desarrollo de agroecosistemas sustentables (Syers y Springett, 1984; Rabatin y Stinner, 1989).

En América tropical el 55% del hemisferio está dominado por suelos ácidos del orden de Oxisoles y Ultisoles que no pueden soportar una agricultura sostenida (Sánchez y Salinas, 1981).

El fósforo es un elemento estable dentro del suelo; no se pierde por lixiviación ni por volatilización, pero esto implica una baja solubilidad. Muchos suelos tropicales presentan alta capacidad de retención fósforo causando deficiencia en la disponibilidad de éste para las plantas (Bertsch, 1995). Szott y Kass (1993) concluyen que es un nutrimento crítico en los sistemas agroforestales, Sánchez (1995) sugiere que la inclusión de árboles puede

incrementar el fósforo en el suelo; por ejemplo este autor reportó que en un estudio realizado en cultivo en callejones se pasó de  $-3.8$  a  $9.4 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Los fosfatos se encuentran en el suelo en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos y en la solución del suelo dependiendo del pH; para las plantas existe desde un punto de vista nutricional la fracción en solución del suelo, el lábil (fósforo disponible) y la de fosfato insoluble, tanto orgánico como inorgánico (Borie y Barea, 1981). En los suelos Ultisoles y Oxisoles existe abundante hierro y aluminio que forman compuestos insolubles con el fósforo no disponibles para las plantas (Sánchez y Salinas, 1981)

Una forma en la que las plantas pueden capturar fósforo es a través de la simbiosis con hongos endomicorrízicos; se acepta que el 90% de las plantas superiores establecen este tipo de relaciones simbióticas. A los hongos micorrízicos, se les atribuyen capacidades de mejorar el crecimiento de las plantas en suelos poco fértiles; en aumentar la capacidad de absorción de minerales relativamente inmóviles, como el fósforo; mejorar la capacidad de transporte y absorción del agua por la planta, disminuir el estrés debido a altas temperaturas y trasplante, desbalance nutricional; de reducir el efecto de la interacción patógeno hospedante (Cuervo y Rivas, 1997) y de minimizar las pérdidas de nutrimentos en los ecosistemas por lixiviación, al promover eficientes mecanismos de absorción (Rabatin y Stinner, 1989).

*A. mangium* forma asociaciones con hongos micorrízicos vesículo arbúsculares (MVA), siendo los géneros *Acaulospora* ssp. y *Glomus* spp los que se destacan por su presencia en suelos ácidos arenosos (pH 4.3 – 5.0) (Cruz y Yantasath, 1993) . El género *Acacia* dependiendo de la especie, así es el tipo de hongo endomicorrízico que la coloniza; *A. mangium* es una especie que presenta, tanto ectomicorrizas como hongos endomicorrízicos, mientras que otras especies únicamente presentan una de estos ( Haselwandter y Bowen, 1996).

Smith y Gianinazzi-Pearsson (1988) reportan que los efectos más significativos de los hongos MVA, sobre el mejoramiento en el crecimiento de las plantas se observan cuando el fósforo (los autores no mencionan a que tipo de

fósforo se refieren) presente en el suelo es bajo, estos autores mencionan que el fósforo ha mostrado frecuentemente ser inhibidor del desarrollo de los hongos MVA y regulador de la liberación de exudados, principalmente por alteraciones en la fisiología de hospedante. Algunas veces, en los hongos MVA, se ha observado que la fertilización con fósforo reduce los porcentajes de colonización, disminuye el desarrollo de arbusculos, vesículas, hifas externas e internas y limita el número de puntos de penetración y de esporas (Smith y Gianinazzi-Pearsson, 1988; Hetrick *et al.*, 1989; Sieverding 1991).

En suelos ácidos del trópico donde existen bajos niveles de fósforo disponible, los hongos micorrízicos son una muestra de su importancia en la facilitación de este nutrimento a la planta (Arias *et al.*, 1991).

En suelos de plantaciones forestales de acacias se encontraron un total de cuatro géneros y diez especies. El género *Glomus* (80%) mostró una alta proporción de esporas vitales. *G. aggregatum* fue la especie más abundante con un 61.8% del total de esporas. La diversidad y la abundancia relativa de las poblaciones de esporas en la solución del suelo se observaron inversamente relacionados a los contenidos de C, N y materia orgánica (Bâ *et al.*, 1996).

Por otro lado la macrofauna del suelo puede regular la imitación y composición de especies de hongos micorrízicos en la zona de raíces. Esta afecta la eficiencia de transferir nutrimentos mediante la simbiosis micorrízica (Rabatin y Stinner, 1989).

El papel de las lombrices en los suelos tropicales ha sido bastante estudiado. Tian *et al.* (1997) subrayan la funcionalidad de éstas como indicadoras de la calidad del suelo y al mismo tiempo menciona que son altamente sensibles a los cambios ambientales.

Son varios los mecanismos por los cuales, el efecto positivo de la presencia de lombrices influye sobre el crecimiento de las plantas: 1) incrementan la incorporación de materia orgánica (MO) en suelo, lo cual acelera la mineralización; 2) existe un posible efecto directo de los productos metabólicos de las lombrices sobre el crecimiento de las plantas; e 3) incrementan la aireación del suelo (Syers

y Springett, 1984). En relación con el fósforo, Sharpley *et al.* (1979), observaron que las lombrices incrementan el fósforo soluble, en comparación con el suelo donde no hubo presencia de los anélidos.

Los objetivos del presente trabajo fueron 1) determinar el aporte de fósforo foliar de la hojarasca de *A. mangium*, 2) determinar la concentración foliar de fósforo de *B. humidicola* con y sin asocio de *A. mangium* y 3) determinar la influencia de la copa de *A. mangium* sobre la población, colonización de hongos endomicorrízico y la biomasa y población de lombrices.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Localización del ensayo y descripción del área experimental

El estudio se realizó entre los meses de noviembre de 1997 a octubre de 1998 en la finca experimental de Calabacito, del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), en la provincia de Veraguas, Panamá. El suelo es clasificado como un Ultisol, profundo, ácido. Los árboles de *Acacia mangium* se plantaron en 1990. Estos fueron plantados a 8 m entre hileras y 3 m entre árboles ( $417 \text{ arb ha}^{-1}$ ). En 1997 se realizó un raleo de los árboles para establecer las densidades; *Brachiaria humidicola* se sembró cuando se plantaron los árboles de *Acacia mangium*, para mas detalles ver Velasco (1998).

### 2.2. Tratamientos y diseño experimental

El estudio se dividió en dos ensayos: En el **ensayo 1** se determinó: la producción y el aporte de P en la hojarasca de *A. mangium* y la concentración de fósforo foliar en la biomasa de la *Brachiaria humidicola*. Constó de dos factores (sistema y época); el diseño fue completamente al azar con un arreglo en parcelas divididas, con cuatro repeticiones. El factor sistema tuvo tres niveles: pradera en monocultivo (Nd), 120 (Bd) y 240 (Ad) árboles por hectárea y el factor época dos niveles: época seca (febrero-abril) y húmeda (junio y julio). En el **ensayo 2**: se determinó la población y colonización de los hongos endomicorrízicos, la población y biomasa de lombrices con relación a la influencia de la copa del árbol. Constó de tres factores (sistema, influencia de copa y época). El diseño fue



completamente al azar con un arreglo en parcelas sub-divididas con cuatro repeticiones. El factor sistema tuvo dos niveles: Bd y Ad; el factor influencia de la copa (sub-parcela) tuvo dos niveles: bajo la copa (Bcopa: 1 m del fuste del árbol) y fuera de la copa (Fcopa: 4 m del fuste del árbol) de *A. mangium* y el factor época (sub-subparcela) dos niveles época seca y húmeda.

### 2.3. Determinación de la producción de hojarasca de la *A. mangium*

La determinación se realizó antes del pastoreo, utilizando la técnica del doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975). En cada sistema se seleccionaron visualmente cinco niveles de hojarasca, a los que se les asignó un valor (nota) de uno a tres de acuerdo a la menor o mayor biomasa en hojarasca. En estos puntos se colocó un marco metálico de 0.5 x 0.5 m, se recolectó y pesó la hojarasca, a estas muestras se denominaron "muestras reales". Las muestras se tomaron caminando los transectos que se ubicaron Bcopa y Fcopa de la *A. mangium*, a 1 y 4 m de distancia del fuste del árbol, asegurando de esta manera estar bajo el radio de la copa y fuera de ésta (Alder y Synnott, 1992).

A cada muestra real se le determinó el contenido de materia seca (MS) mediante la utilización de una estufa de aire forzado a 65 °C por 48 horas. Utilizando los niveles asignados de las muestras reales, su valor en MS y las frecuencias de hojarasca por nivel, se aplicó un modelo de regresión lineal simple, para posteriormente, con base en la ecuación de regresión y los valores asignados a las muestras visuales se estimó la producción de hojarasca ofrecido utilizando la siguiente ecuación:  $Y = a + b(X' - X)$

donde:

- Y= Producción estimada de materia seca de hojarasca en 0.25 m<sup>2</sup>.
- a= Producción promedio de todas las observaciones reales.
- X'= Valor promedio de todas las estimaciones hechas en las observaciones visuales tomadas en cada potrero.
- X= Valor promedio de las observaciones visuales correspondientes a cada observación real.
- b= Coeficiente de regresión entre observaciones visuales y valores obtenidos para disponibilidad de materia seca en las muestras reales tomadas en cada potrero.

## 2.4. Recolección de muestras de suelo

En las praderas con árboles (Ad y Bd) se tomaron muestras con un barreno a 0.15 m de profundidad, se seleccionaron cuatro árboles al azar por repetición, luego alrededor de cada árbol se ubicaron aleatoriamente los puntos para muestreo, correspondiendo a Bcopa y Fcopa. Para la pradera de *B. humidicola* sola (Nd) se aleatorizaron cuatro puntos y estos formaron una muestra compuesta de suelo, esto se realizó por cada repetición de Nd.

Las muestras, se depositaron en una bolsa plástica la cual se transportó en una hielera del campo al laboratorio, donde se refrigeró a 4 °C hasta su análisis (Bà *et al.*, 1996).

No se tomaron muestras dentro de las hileras de árboles ya que la distancia entre estos regularmente era menor a cuatro metros, lo que no representaba a Fcopa.

## 2.5. La concentración del fósforo foliar (Pfol) en la *A. mangium* y *B. humidicola*.

El Pfol para la hojarasca de la *A. mangium* y *B. humidicola* se determinó con el método de digestión húmeda con mezcla de ácidos nitro-perclórico, 5:1, realizando la lectura del fósforo foliar por colorimetría (Henríquez *et al.*, 1995).

## 2.6. Otros nutrimentos en la hojarasca de *A. mangium*

La concentración Ca, Mg, K y Mn en la hojarasca se determinó con el método de digestión húmeda con mezcla de ácidos nitro-perclórico, 5:1, realizando la lectura de los extractos (Henríquez *et al.*, 1995).

## 2.7. Determinación del fósforo en suelo

El contenido de fósforo extraíble (Pdispo) fue determinado con el método de Olsen modificado, el fósforo orgánico (Porga) con el de ignición y extracción con  $H_2SO_4$  (0.5 M) y, el fósforo total (Ptotal) por el de digestión con  $HClO_4$  (ácido perclórico), todos los extractos fueron analizados por colorimetría.

La determinación de la materia orgánica del suelo se realizó por el método de Walkley y Black (1990) con muestras compuestas, que representaron la época e influencia de la copa. La determinación de Mn se realizó con extracto de Olsen modificado y la lectura se realizó con el espectrofotómetro de absorción atómica.

A estas muestras se les realizó la determinación de pH en agua (Henríquez *et al.*, 1995) y, se determinó la humedad secando las muestras a una temperatura constante de 105° C por 48 horas.

## **2.8. El aporte de fósforo foliar de hojarasca de *A. mangium* y la concentración de fósforo foliar en la *B. humidicola*.**

El aporte de Pfol de *A. mangium* se obtuvo multiplicando la concentración de la hojarasca por su producción y la concentración de Pfol en *B. humidicola* representa a la biomasa total presente en las parcelas antes del pastoreo.

## **2.9. Población y colonización de hongos endomicorrízicos**

Los muestreos para la determinación de la población y colonización de hongos MVA, se realizaron en febrero, abril, junio y julio de 1998.

La población de hongos endomicorrízicos se determinó calculando la abundancia relativa de esporas, a una profundidad de 0.15 m.

Para extraer las esporas del suelo se usó el método de centrifugación con sacarosa, técnica de Jenkins, modificada para la extracción de esporas de hongos endomicorrízicos por Walker *et al.* (1983).

La colonización de los hongos endomicorrízicos se determinó realizando la tinción de las raíces de *B. humidicola* las cuales fueron sustraídas del mismo suelo de donde se extrajeron las esporas. Se empleó el método de Phillips y Hayman (1970) y se determinó el porcentaje de colonización en raíces (Brundrett *et al.*, 1994). El porcentaje (Z%) de colonización (col), vesícula (vesi) y arbusculos (arbu) es igual al número de campos (X) colonizados y/u ocupados por vesículas y arbusculos sobre el total de campos observados en cada placa (Y), multiplicados por cien. La ecuación es la siguiente:  $Z\% = (X/Y) 100$ , X = número de estructuras interceptadas (colo, vesi y arbu).

Un campo se consideró colonizado, si se observó la presencia de hifa, vesícula (cuerpos globosos) y/o arbusculos ("pequeños matorrales") (Powell y Bagyaraj, 1986). Dentro de estos campos colonizados se diferenció si era por vesículas y/o arbusculos.

## 2.10. Determinación de la población y biomasa de lombrices

La biomasa de lombrices se estimó con un marco metálico de 0.5 x 0.5 m a una profundidad de 0.15 m, según la metodología descrita por Anderson e Ingram (1993). Para la selección de los puntos de muestreo Bcopa y Fcopa de *A. mangium*, se siguió la metodología descrita en el acápite 2.4. (Recolección de muestras de suelo).

Ubicados los puntos, el área fue limpiada del material vegetal sin disturbar la superficie del suelo, esto se realizó antes de la toma de muestras, luego se procedió a remover con una pala cuadrada el bloque de suelo y se depositó sobre una superficie plástica, para extraer manualmente las lombrices, las cuales fueron introducidas en un frasco de vidrio con suelo, sellado con parafina debidamente rotulado. Este recipiente se introdujo a una hielera para transportarlo al laboratorio. Las lombrices se colocaron sobre papel absorbente para que vaciaran sus tubos digestivos y posteriormente se lavaron para pesarlas, por último se secaron en el horno a 70 °C por 12 h (Tropical Biology and Fertility 1989; Fraile, 1989).

La población de lombrices se determinó contando el número de ellas en cada punto de muestreo, identificando a que tratamiento pertenecía, para luego inferir estadísticamente con base a las pruebas del modelo propuesto.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Producción, concentración y aporte de fósforo de la hojarasca de *A. mangium*

La producción de hojarasca presentó diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) por efecto del sistema y meses de muestreo; la mayor producción se observó en el sistema Ad y en los meses de mayor lluvia (junio-noviembre) (Figura 1).

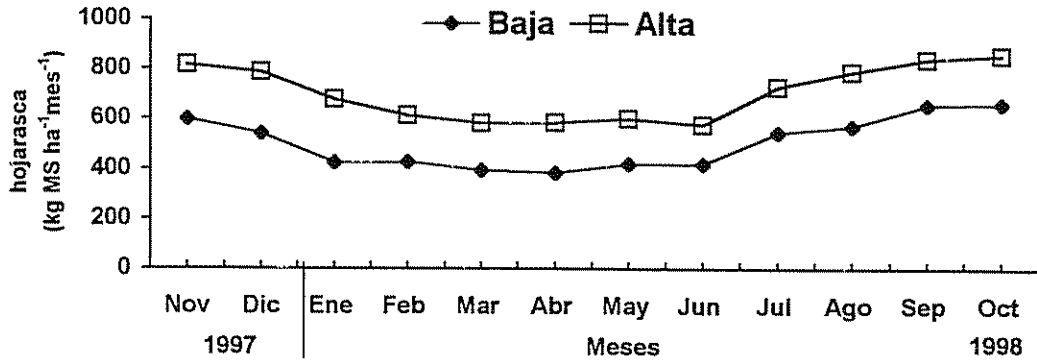


Figura 1. Aporte de hojarasca de *A. mangium* para un sistema silvopastoril con dos densidades arbóreas (Bd y Ad: 120 y 240 arb ha<sup>-1</sup>). Veraguas, Panamá, 1998.

El análisis estadístico detectó interacciones significativas ( $p < 0.05$ ) entre la copa x época en la producción de hojarasca; en la época seca la producción de hojarasca en Ad superó a Bd en 27%, sin embargo en la época húmeda la diferencia fue solo de 10%, siendo mayor producción bajo el sistema Ad (Figura 2).

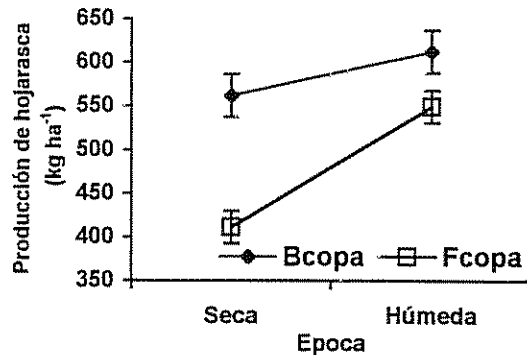


Figura 2. Producción de hojarasca de *A. mangium* en las dos épocas y ubicación respecto a la copa del árbol (Bajo copa: Bcopa y Fuera copa: Fcopa) x época. Veraguas, Panamá, 1998.

La producción anual de hojarasca en el sistema de alta densidad fue de 8481 kg MS ha<sup>-1</sup> y esta superó a baja densidad en 29% (Cuadro 1)

**Cuadro 1. Producción anual total de los nutrimentos aportados vía hojarasca de la *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998.**

Sistema	Hojarasca	N	P	K	Ca	Mg	Mn
	kg MS ha <sup>-1</sup>	Concentración %					mg /kg
		1.37	0.08	0.075	1.02	0.212	820.19
		kg ha <sup>-1</sup>					
<b>Bd</b>	6058 a	83 b	4.85 b	4.54 b	61.95 b	12.87 b	4.97 b
<b>Ad</b>	8481 b	116.2 a	6.9 a	6.78 a	86.72 a	18.02 a	6.96 a

Los promedios con letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) (Tukey).

### 3.2. Aporte de nutrimentos de hojarasca

En el cuadro 1 se puede observar los datos de aporte de nutrimentos de hojarasca en las dos densidades de *A. mangium*, el aporte de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y manganeso en el sistema de Ad fue significativamente ( $p < 0.05$ ) mayor comparado con Bd, con una diferencia de 29, 30, 33, 29, 29 y 29%, respectivamente.

En la figura 3 se puede observar que el aporte de fósforo, vía hojarasca, fue estadísticamente significativa ( $p < 0.0001$ ) para el sistema y la época, resultando superior el sistema Ad ( $0.35 \text{ kg ha}^{-1} \pm 0.05$ ) que Bd ( $0.26 \text{ kg ha}^{-1}, \pm 0.05$ ); en la época, la húmeda el aporte de fósforo fue mayor ( $0.43 \text{ kg ha}^{-1}, \pm 0.03$ ) que en la seca ( $0.17 \text{ kg ha}^{-1}, \pm 0.01$ ).

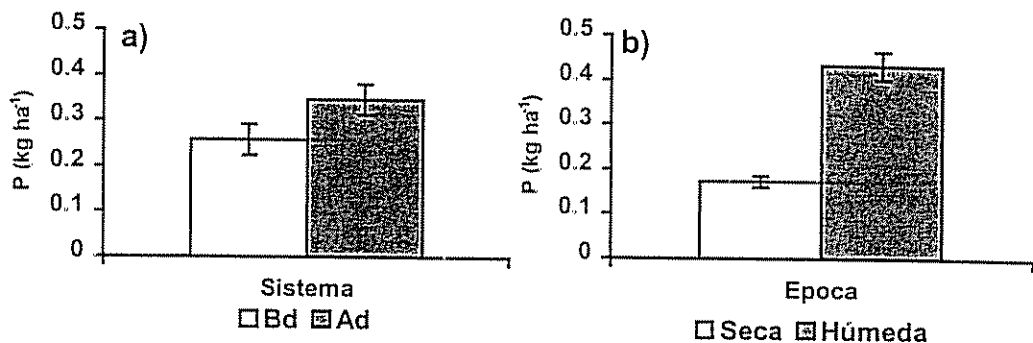


Figura 3. Aporte de P vía hojarasca de *A. mangium* por efecto del sistema y la época. Veraguas, Panamá, 1998.

El análisis estadístico detectó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para las interacciones sistema x copa. El sistema Ad siempre fue superior en ambas épocas, tanto fuera como dentro de la copa (Bcopa:  $0.35 \text{ kg ha}^{-1}, \pm 0.03$ ; Fcopa:  $0.35 \text{ kg ha}^{-1}, \pm 0.4$ ) comparado con Bd (Bcopa:  $0.28 \text{ kg ha}^{-1}, \pm 0.03$ ; Fcopa:  $0.23 \text{ kg ha}^{-1}, \pm 0.4$ ) (Figura 4).

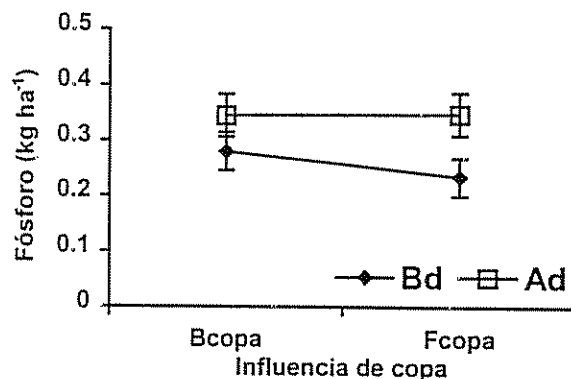


Figura 4. Relación entre densidad de siembra de árboles, la influencia de la copa y el aporte de fósforo de *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998.

### 3.3. Concentración y contenido de fósforo en la *B. humidicola*

La concentración de fósforo con base en la materia seca en la biomasa de *B. humidicola* fue estadísticamente diferente ( $p < 0.0003$ ) para el efecto de la

época, siendo mayor en la época húmeda (0.166,  $\pm 0.003$ ) que en la seca (0.113,  $\pm 0.004$ ) (Figura 5).

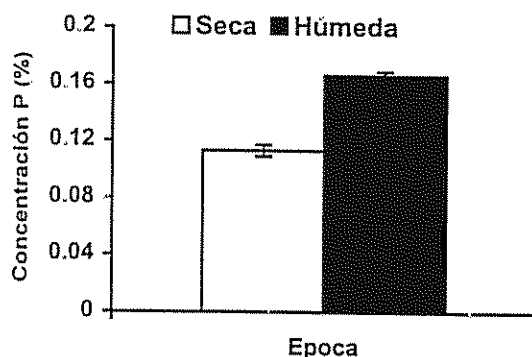


Figura 5. Concentración de fósforo (P) foliar en la *Brachiaria humidicola* por efecto de la época. Veraguas, Panamá, 1998.

La concentración de fósforo del forraje de *B. humidicola* no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) para las muestras tomadas Bcopa o Fcopa.

### 3.4. Fósforo Total

Las diferencias significativas ( $P < 0.006$ ) se encontraron en la época húmeda al comparar los sistemas, siendo superior Ad ( $292 \pm 9.15 \text{ mg l}^{-1}$ ) que Bd ( $253 \pm 7.9 \text{ mg l}^{-1}$ ) y Nd ( $232 \pm 7.5 \text{ mg l}^{-1}$ ) (Figura 6).

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ( $p < 0.005$ ) en la interacción influencia de la copa x época; en la época húmeda el P total fue mayor bajo la copa que fuera de la copa ( $290.69$  y  $254.14 \text{ mg l}^{-1}$ ) (Figura 7).

### 3.5. Fósforo Orgánico

La concentración de esta variable no fue significativamente diferente ( $p > 0.05$ ) entre sistemas durante la época seca; sin embargo, en la época húmeda el fósforo orgánico fue mayor para los sistemas con *A. mangium*, siendo el sistema de Ad ( $99.4 \text{ mg l}^{-1}$ ) con más elevadas concentraciones comparada con Nd ( $80.22 \text{ mg l}^{-1}$ ) y Bd ( $92.2 \text{ mg l}^{-1}$ ) (Figura 6).

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ) en la interacción influencia de la copa x época. En la época seca (Bcopa:  $82.61 \pm 2.03$  y



Fcopa:  $82.8 \pm 2.02 \text{ mg l}^{-1}$ ) no se encontró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la concentración de P Bcopa y Fcopa, si embargo en la época húmeda (Bcopa:  $98.73 \pm 3.66$  y Fcopa:  $92.87 \pm 2.84 \text{ mg l}^{-1}$ ), la concentración de P del suelo fue mayor significativamente ( $p < 0.0001$ ) Bcopa del árbol de *A. mangium* (Figura 7).

### 3.6. Fósforo Disponible

El análisis estadístico detectó diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en la interacción sistema x época. En la época seca el nivel de fósforo disponible no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) (Ad:  $1.69, \pm 0.085$ ; Bd:  $1.68, \pm 0.184$  y Ad:  $1.59, \pm 0.194 \text{ mg l}^{-1}$ ), pero si en la húmeda, siendo mayor el sistema Ad ( $4.45, \pm 1.473 \text{ mg l}^{-1}$ ) > Bd ( $3.77, \pm 0.287 \text{ mg l}^{-1}$ ) > Nd ( $2.65, \pm 0.079 \text{ mg l}^{-1}$ ) (Figura 6).

La interacción influencia de la copa x época fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ). En la época seca el fósforo disponible fue similar para bajo la copa y fuera de esta, sin embargo durante la época húmeda se observó una mayor concentración de fósforo disponible bajo la copa del árbol comparada con fuera de la copa ( $4.38, \pm 0.284$  y  $3.86, \pm 0.30 \text{ mg l}^{-1}$ ) (Figura 7).

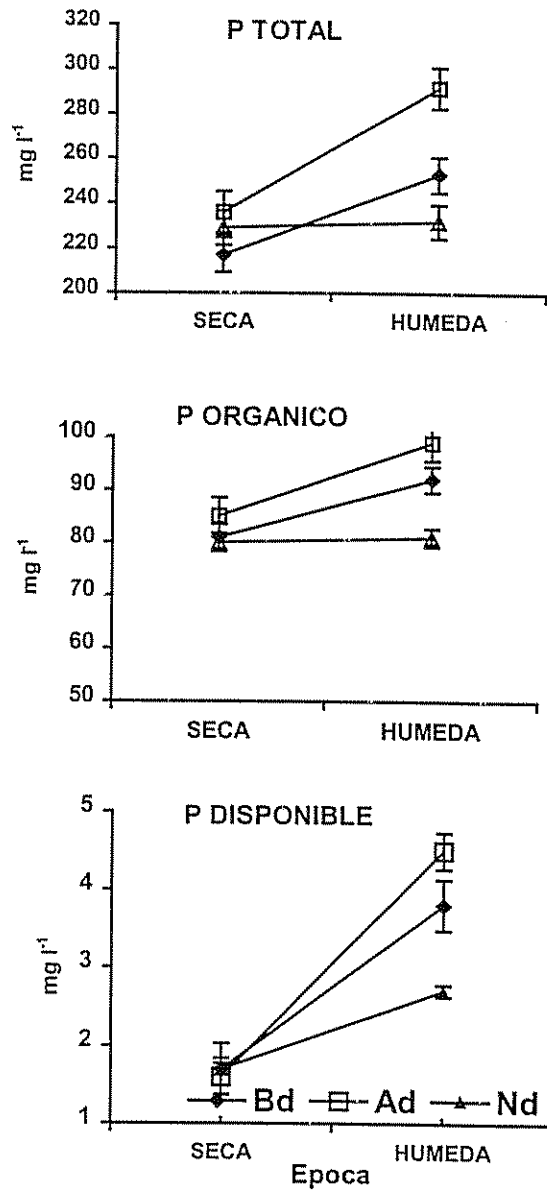


Figura 6. Concentración de fósforo (P) en el suelo (Pdisponible: Pdispo, P orgánico: Porga y Ptotal) para los sistemas (Nd: pradera a pleno sol, Bd: 120 y Ad: 240 arb  $\text{ha}^{-1}$ ).

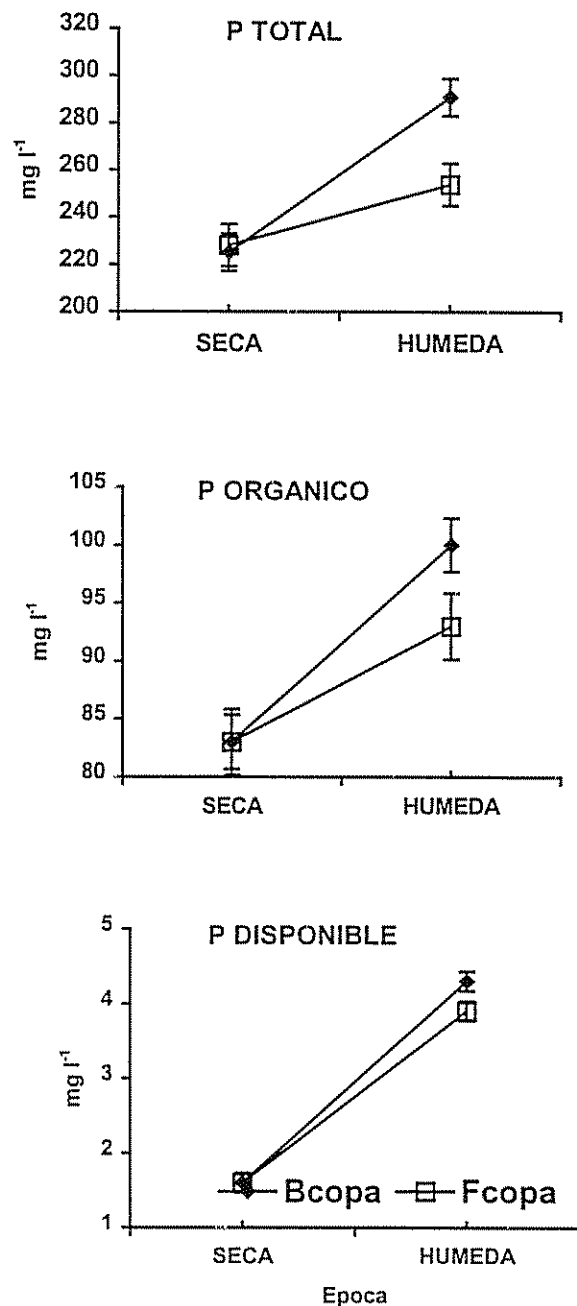


Figura 7. Concentración de fósforo (P) en el suelo (Pdisponible: Pdispo, P orgánico: Porga y Ptotal) para la influencia de la copa del árbol (Bcopa: bajo la copa y Fcopa: fuera de la copa).

### 3.7. pH y la materia orgánica del suelo

El análisis estadístico detectó diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en la interacción sistema x época, en la época húmeda se registraron las diferencias, siendo mayor Nd ( $5.21, \pm 0.022$ ) sobre Ad y Bd,  $5.18 (\pm 0.033)$  y  $5.1 (\pm 0.032)$ , aunque entre Nd y Ad no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) (Figura 8a).

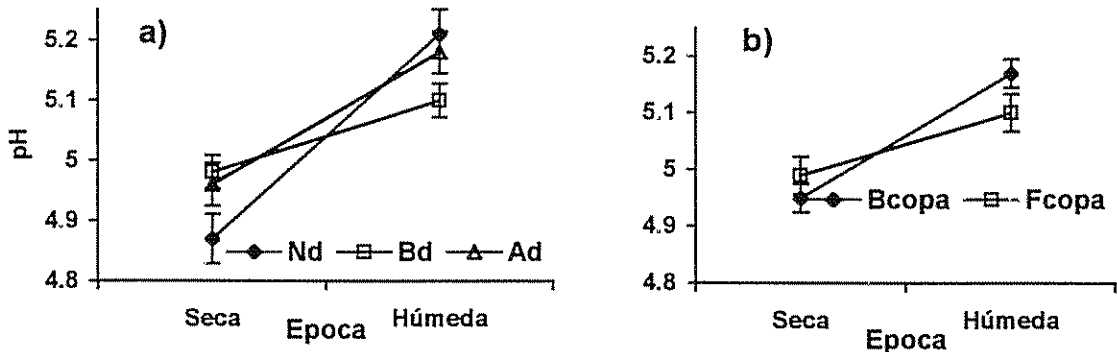


Figura 8. Variación del pH del suelo en diferentes épocas (seca y húmeda) y por efecto de a) sistemas (Nd= 0, Bd= 120 y Ad= 240 arb ha<sup>-1</sup>) y b) copa (Bcopa: Bajo y Fcopa: Fuera de copa). Veraguas, Panamá, 1998.

Respecto a la influencia de la copa, ésta fue estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) en la interacción por época. Estas diferencias nuevamente se presentan en la época húmeda, siendo Bcopa ( $5.17, \pm 0.02$ ) mayor que Fcopa ( $4.99, \pm 0.03$ ) (Figura 8b).

Por otro lado, la materia orgánica (MO) del suelo no se analizó estadísticamente; sin embargo, los resultados muestran mayor porcentaje de MO en la época húmeda comparada con la seca (Cuadro 2).

Cuadro 2. Materia orgánica en el suelo por época en el sistema silvopastoril de *B. humidicola* con *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998.

Sistema	Epoca húmeda	Epoca seca
	%	
Bd	3.98	3.44
Ad	4.10	3.73

### 3.8. Humedad del suelo

Esta presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la interacción sistema x época y por influencia de la copa ( $p < 0.05$ ). Respecto a la interacción, el sistema fue mayor en  $Ad > Bd > Nd$ , 19.91% ( $\pm 0.56$ ), 19.52% ( $\pm 0.37$ ) y 18.08% ( $\pm 0.32$ ), respectivamente, en la época seca, mientras que en la húmeda  $Ad > Bd > Nd$ , con 31.92 ( $\pm 0.65$ ), 31.44 ( $\pm 0.824$ ) y 27.61% ( $\pm 0.60$ ), respectivamente (Figura 9).

Por efecto de la influencia de la copa, fue mayor  $B_{copa}$  (26.26%,  $\pm 0.79$ ) y  $F_{copa}$  (25.13%,  $\pm 0.798$ ).

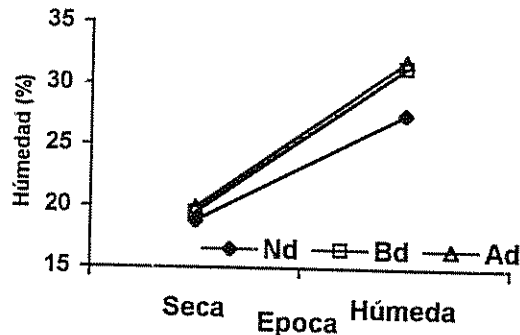
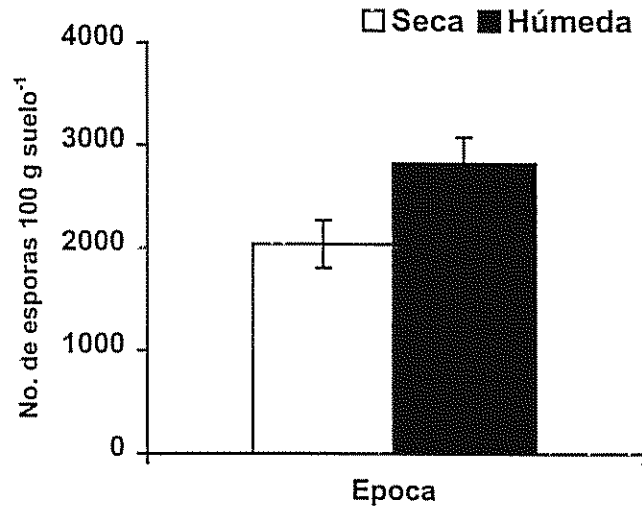


Figura 9. Humedad del suelo en diferentes épocas en un sistema de monocultivo de *B. humidicola* ( $Nd = 0 \text{ arb ha}^{-1}$ ) y en asocio con *A. mangium* ( $Bd = 120$  y  $Ad = 240 \text{ arb ha}^{-1}$ ). Veraguas, Panamá, 1998.

### 3.8. Población de hongos endomicorrízicos

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ( $p < 0.04$ ) para el factor época; la población promedio de hongos endomicorrízicos fue menor en la época seca que la húmeda (2033,  $\pm 232.5$  vs 2824,  $\pm 256.6$ ) (Figura 10). En los meses de la época húmeda (junio y julio) la población de hongos endomicorrízicos en el sistema Ad superó al sistema Bd en promedio de 79%, siendo esta diferencia significativa ( $p < 0.01$ ).

↑  
julio



**Figura 10. Población de hongos micorrízicos en los sistemas por efecto de la época (seca y húmeda). Veraguas, Panamá, 1998.**

Aunque no se detectaron diferencias significativas por efecto de la influencia de la copa del árbol, existió una curva de saturación, ya que en el mes de julio disminuyó la población de esporas de los hongos endomicorrízicos, respecto a junio (Figura 11).

La población Bcopa del árbol fue en promedio 9% superior que Fcopa durante los meses de la época seca y húmeda.

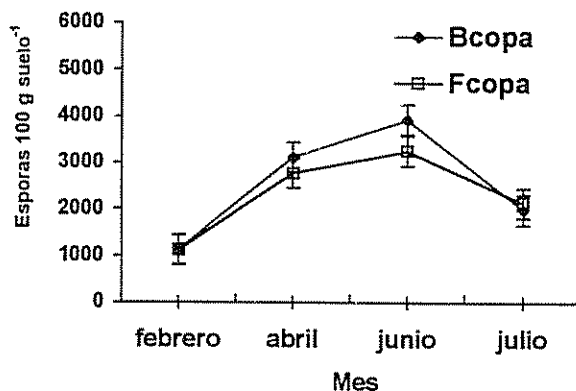


Figura 11. Población mensual de hongos micorrícicos Bcopa y Fcopa en los sistemas. Veraguas, Panamá, 1998.

### 3.9. Géneros asociados al sistema

Los géneros hongos endomicorrízicos encontrados fueron *Glomus* spp (80%), *Entrophospora* (15%), *Gigaspora* (14%) . *Acaulospora* (9%) y *Glomus* spp fue el más frecuente (Figura 12).

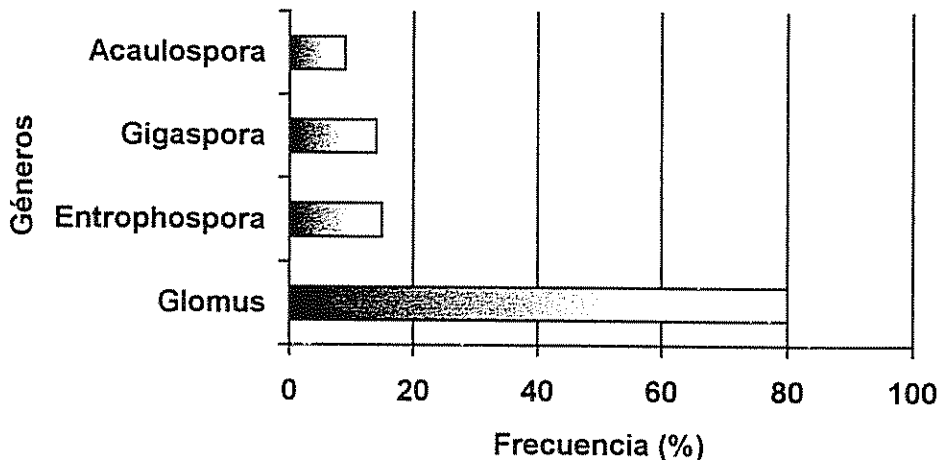


Figura 12 Frecuencia de géneros de hongos endomicorrízicos asociados a un SSP (*B. humidicola* con *A. mangium*). Veraguas, Panamá, 1998.

El análisis estadístico no detectó diferencias significativas por época, sistema y distancia, así mismo tampoco en las interacciones.

### 3.10. Colonización de vesículas y arbúsculos

La frecuencia de vesículas y arbúsculos fue mayor significativamente ( $p < 0.05$ ) en la época seca que en la época húmeda. No se detectó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre sistemas para la frecuencia de vesículas (Cuadro 3).

Respecto a la influencia de la copa, no se detectó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), tanto en vesículas como en arbúsculos.

**Cuadro 3. Porcentaje promedio de vesículas y arbúsculos durante dos épocas y en un sistema silvopastoril con dos densidades de *A. mangium* manejada bajo pastoreo. Veraguas, Panamá, 1998.**

Epoca	Vesículas (%)	Arbúsculos (%)	Densidad	Vesículas (%)	Arbúsculos (%)
Seca	64.78 a ( $\pm 3.34$ )	44.81 a ( $\pm 4.28$ )	Bd	60.81a ( $\pm 3.27$ )	41.12 a ( $\pm 4.01$ )
Húmeda	54.56 b ( $\pm 3.17$ )	24.68 b ( $\pm 2.86$ )	Ad	58.53a ( $\pm 3.48$ )	28.37 b ( $\pm 3.78$ )

Los promedios con letras iguales dentro de la misma columna no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) (Tukey).g

### 3.11. Población y Biomasa de Lombrices

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) en la interacción sistema x época, tanto en la biomasa como para la población de lombrices.

La biomasa, esta fue para Ad > Bd, 22.62 ( $\pm 3.64$ ) y 8.02 ( $\pm 2.56$ ) kg MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En julio la biomasa de lombrices en Ad fue de 26.15 kg MS ha<sup>-1</sup>, siendo mayor en 31% a Bd (Figura 13a).

Respecto a la población fue mayor en la época húmeda bajo el sistema alta densidad de *A. mangium* (Figura 13b). La población de lombrices tuvo un incremento en la época húmeda respecto a la seca del orden de 0 y 2 lombrices m<sup>2</sup>, para febrero y abril (época seca), respectivamente a 40 y 65 lombrices m<sup>2</sup>, para junio y julio (época húmeda), respectivamente.

Para las densidades Bd y Ad en la época seca, la población fue de 1 lombriz m<sup>2</sup> para cada una, mientras que en la época húmeda Bd y Ad, tuvieron en



promedio una población de 10 (junio=10 y julio=11 lombrices  $m^2$ ) y 42 lombrices  $m^2$  (junio=30 y julio=54 lombrices  $m^2$ ), respectivamente.

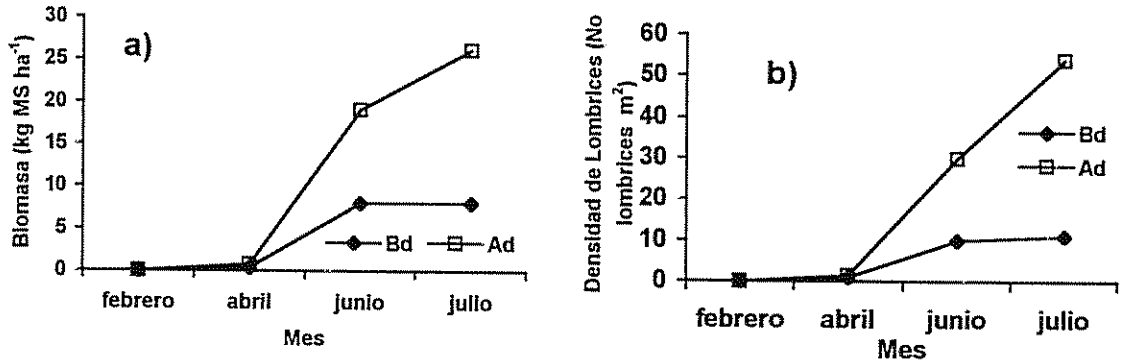


Figura 13. Biomasa y población de lombrices por sistema (Bd:120 y Ad: 240 arb  $ha^{-1}$ ) en relación a la época (seca y húmeda). Veraguas, Panamá, 1998.

No se detectó diferencias en la población por influencia de la copa del árbol, aunque a partir de abril siempre fue superior bajo la copa del árbol de *A. mangium* (Figura 14).

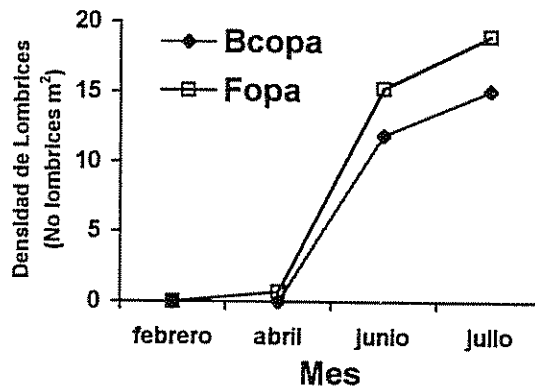


Figura 14. Población de lombrices en un sistema silvopastoral bajo y fuera de la copa del árbol de *A. mangium*. Veraguas, Panamá, 1998.

#### 4. DISCUSION

Los resultados del presente estudio muestran que a mayor densidad de plantación de *A. mangium* se incrementa la producción de hojarasca. Bajo la copa del árbol esta producción fue superior que fuera de la copa y esta se incrementó en los meses de mayor humedad.

Tsai (1992) reportó que la producción acumulada anual de hojarasca de árboles de *A. mangium* con 4 años de edad, fue alrededor 6000 kg ha<sup>-1</sup>, lo anterior esta de acuerdo con lo encontrado en el presente estudio, donde la producción de hojarasca anual fue de 6,058 y 8481 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para el sistema Bd y Ad respectivamente.

El aporte de fósforo vía hojarasca fue superior para alta densidad (240 arb ha<sup>-1</sup>) que baja densidad (120 arb ha<sup>-1</sup>) lo que resultó en un mejoramiento significativo en el suelo en las fracciones de fósforo total, orgánico y disponible. Esto se está de acuerdo con los resultados de Singh *et al.* (1989) que reporta mayor aporte de fósforo alta densidad de plantación de *E. hybrid* (2500 arb ha<sup>-1</sup>) sobre *P. deltoides* (1600 arb ha<sup>-1</sup>), aunque debe observarse que son dos especies diferentes. Respecto al fósforo disponible este trabajo coincide con Fisher (1995) que reportó que *A. mangium* incrementó el fósforo disponible de manera significativa en los primero 15 cm de profundidad del suelo.

Este aporte de P tiene implicaciones positivas para la producción de pastos en suelos ácidos, considerando que la baja concentración de P de estos suelos (Oxisoles y Ultisoles) es uno de los factores limitantes para la producción forrajera en el trópico (Sánchez y Salinas, 1981).

Así también bajo la copa de *A. mangium* fue marcadamente superior en la época húmeda. Aunque no se realizó un análisis estadístico del contenido de materia orgánica en el suelo, esta fue superior al incrementarse la población arbórea, indistintamente si fue época seca o húmeda.

Los resultados del presente estudio concuerda con los de otros autores; investigaciones realizadas por Cooperband (1992) en suelos marginales

(pH=5.17), de origen volcánico, bien drenado y bajo en P disponible ) en Neguev, Costa Rica muestra que la integración de poro (*Erythrina berteroana*) en un complejo de pasturas nativas presentaron un aumento significativo en la concentración de P durante el primer tercio del estudio, que aumentó de 0.238 a 0.277%, pero en los periodos subsecuentes no se encontraron diferencias significativas en la concentración (de 0.277 a 0.289%). Con relación al presente estudio, la concentración de P foliar se incrementó de 0.11% en los meses más secos (marzo y abril) a 0.17% en los meses (junio y julio) de mayor humedad en el suelo, esto se debe posiblemente al incremento de P disponible en el suelo durante la época húmeda, lo que coincide con reportado por Bertsch (1995).

Kamara y Haque (1992) reportan que en un suelo Vertisol la concentración de P en el suelo fue mayor bajo la copa de *Acacia albida* comparada con el nivel de P observado fuera de la zona de influencia de la copa. Estos datos concuerdan con los resultados de este estudio que muestran mayor concentraciones de P total ( $291 \text{ mg l}^{-1}$ ), P orgánico ( $100 \text{ mg l}^{-1}$ ) y P disponible ( $4.3 \text{ mg l}^{-1}$ ) en la época húmeda bajo la copa de *A. mangium* comparada con fuera de la copa.

Aunque no se ha estudiado la descomposición de hojas de *A. mangium*, las observaciones en el campo sugieren que esta especie tiene una lenta tasa de descomposición. Estudios nutricionales con el follaje verde de *A. mangium* muestran que esta especie tiene lenta degradación de la materia seca, ya que después de 48 h, solamente el 27.3% de MS fue degradado en el rumen de ganado bovino (Bui *et al.*, 1992).

En suelos ácidos, la lenta descomposición de hojarasca y mineralización de P puede ser ventajoso debido a que el P liberado puede tener suficiente tiempo para su captura por la pastura y, no se mueve en la forma fijada. Posiblemente la presencia de *A. mangium* favorece la solubilización del fósforo, ya que el fósforo disponible aumenta con la magnitud de la plantación, que a su vez mantiene mayor porcentaje de humedad en el suelo.

La concentración de fósforo en *B. humidicola* fue superior en la época húmeda y respecto al efecto de la población arbórea, no hubo diferencias, aunque

alta densidad fue superior tanto para al monocultivo y como a baja densidad. Lo anterior posiblemente se debe a que la concentración foliar de fósforo en la *B. humidicola* se correlacionó positivamente al fósforo disponible ( $r=62$ ,  $p=0.0001$ ) y la humedad ( $r=74$ ,  $p=0.0001$ ).

En la dinámica del fósforo también participan los hongos endomicorrízicos, que en el presente estudio la población de estos fue mayor en la época húmeda respecto a la seca, fue en la época húmeda donde la población arbórea evidenció la influencia que tiene sobre estos organismos, ya que a alta densidad arbórea la población de hongos endomicorrízicos fue superior comparado con el sistema baja densidad.

Howeler *et al.* (1987) ha reportado un promedio de 132 esporas en 5 g de suelo con *Andropogon gayanus*, mientras que en el presente trabajo se reporta 157 esporas en 5 g de suelo en el sistema alta densidad en la época húmeda, esto puede explicarse por la capacidad que presenta *B. humidicola* a ser colonizada por hongos endomicorrízicos (Howeler *et al.*, 1987).

Respecto a la influencia de la copa de la *A. mangium*, la población tuvo en ambas épocas mayor número de esporas bajo la copa que fuera de esta, aunque no hubo una diferencia estadística. Esto posiblemente se explica por el incremento en pH que se presentó en la época húmeda bajo la copa del árbol, así como Mecinas *et al.* (1991) quienes reportan que bajo la copa del árbol de *Cedrela* sp existió mayor actividad biológicas de la microflora y fauna, incluyendo a los hongos micorrízicos.

La colonización por frecuencia de vesículas y arbusculos fueron mayores en la época seca y para el caso de la frecuencia de arbusculos, esta fue superior en baja densidad. Esto se debe posiblemente a que la *B. humidicola* tiene un abundante sistema radicular y son altamente dependientes de los hongos endomicorrízicos cuando crecen en suelos ácidos de baja fertilidad (Howeler *et al.*, 1987; Rao *et al.*, 1992).

Howeler *et al.* (1987) reporta que la colonización de los hongos endomicorrízicos no solo se encuentra regulado por los exudados radicales, sino

también por la presencia de fósforo en el suelo, este autor reportó mayor colonización en suelos arenosos que arcillosos, lo que puede explicar el mayor porcentaje de colonización de vesículas y arbuscúlos en la época seca que en la húmeda, ya que es en los meses secos donde la planta dispone de menos fósforo disponible, por lo tanto los hongos endomicorrízicos presentaron su mayor actividad al colonizar las raíces.

Aunque Howeler *et al.* (1987) reportan que la *B. humidicola* presenta una eficiencia de colonización del 80% en asociación con *Desmodium ovalifolium* que sola (50%), por lo tanto los resultados observados pudieron estar influenciados por una distribución homogénea del micelio en el suelo, durante los 4 años de la plantación, que hace que no existan diferencias de colonización entre las raíces (Jeffries y Barea, 1998).

Referente a la colonización de arbuscúlos (68%.99%) el presente estudio fue mayor en el tratamiento con mayor densidad arbórea ( $240 \text{ arb ha}^{-1}$ ), lo que concuerda con Howeler *et al.* (1987) que observó que los niveles de colonización en suelos cultivados con *A. gayanus* sola y *A. gayanus* con *Pueraria phaseoloides* y savana nativa fueron 71, 95 y 29%, respectivamente. Donde se puede observar que la presencia de la leguminosa tiene un mayor porcentaje de colonización.

En el presente estudio se observó una mayor proporción del género *Glomus* (80%) los cuales se encuentran mayormente asociados *A. mangium* ✓ (Haselwandter y Bowen, 1996, Bâ *et al.*, 1996).

Estudios realizados por Habte y Soedarjo (1996) en suelos Oxisoles que son ricos en Mn y en pH entre 4.3 y 6, demuestran que la respuesta de *A. mangium* a un mayor incremento de colonización se favorece en pH entre 4.3 a 5. Estos autores reportan mejor crecimiento de *A. mangium* alta concentración de P pero un pH <5, donde el porcentaje de colonización fue de un 70-80%, que son similares a los encontrados en el presente ensayo. La respuesta al crecimiento de *A. mangium* (Habte y Soedarjo, 1996) puede explicarse por la presencia de hongos endomicorrízicos, ya que estos pueden incrementar el P polifosfato en las raíces, también debido a que las raíces micorrizadas pueden tomar P inorgánico

contenido en la solución del suelo, pero Schachtman *et al.* (1998) sugieren que los niveles de colonización pueden estar también regulados por la misma planta. Lo que lleva a pensar que la planta permite una actividad mayor de los hongos endomicorrízicos cuando necesita un mayor contenido de fósforo para su realizar su actividad metabólica de la mejor manera.

Coopeband (1992) reportó una relación entre el porcentaje de colonización y el fósforo total en el suelo, así como al volumen de raíz producido por las especies forrajeras (*Paspalum conjugatum* y *Homolepsis aturensis*), el mismo autor reporta que el crecimiento dependió de la efectividad de la simbiosis entre el hospedero y la especie de hongos MVA.

En la dinámica del fósforo también participan las lombrices al pasar por su tracto digestivo MO y suelo (Sharpley *et al.*, 1979). Lo anterior posiblemente explica porque se encontró más fósforo total en Ad respecto a Bd en la época húmeda, ya que también existió una correlación positiva ( $r=0.83$ ,  $p=0.0001$ ) entre la biomasa de lombrices y el fósforo total. Cooperband (1992) menciona que la rapidez de liberación del P de la MO en un SSP, depende de la especie vegetal, así como del tiempo que ésta se encuentre expuesta a los organismos del suelo, esto también pudiese explicar la mayor cantidad de fósforo total bajo la copa de *A. mangium*.

#### Población y biomasa de lombrices.

Los promedios encontrados son inferiores a los reportados por Fraile (1989), con valores de 184 lombrices  $m^2$  en pasturas con *Erithryna* sp, en suelos que corresponden a un *Eutric hapludands*, de fertilidad alta y de origen pluvial en Turrialba, Costa Rica. Umaña (1996), reporta 92 lombrices  $m^2$  en la zona atlántica de Costa Rica. Esquivel (1997) en las mismas parcelas (Umaña, 1996), a una profundidad de 0-15 cm, encontró 204 lombrices  $m^2$ ; aunque no obtuvo diferencias entre tratamientos, se observó que aquellos que presentaron el componente leñoso (*Erithryna berteruana* y *Gliricidia sepium*) tuvieron 13% más lombrices por metro cuadrado, que en pastura sola (*Brachiaria brizantha*).

La población y biomasa de lombrices fueron superiores en los meses de época húmeda y por efecto de la población de la plantación arbórea, ya que alta densidad presentó un 70% más que baja densidad.

El análisis arroja un efecto de la época extremadamente grande, tanto para la población como para la biomasa, esto demuestra lo sensibles que son las lombrices a los cambios ambientales del suelo esto va de acuerdo con lo establecido por Esquivel (1997), quienes indican que las variables de humedad en suelo afectan la actividad de los individuos, determinando su número y radio de acción.

El efecto de la distancia no resultó significativo, debido al alto coeficiente de variación (37%). Esto mismo fue lo reportado por Esquivel (1997), altos coeficientes de variación (57%), donde encontró que el tratamiento con *Erythrina berteruana* presentó 225 lombrices m<sup>2</sup> a un metro de distancia de fuste del árbol.

Para el presente estudio, la población de lombrices siempre fue superior fuera de la copa que dentro; se debe considerar que pudiesen existir efectos confundidos, ya que no se evaluó la compactación del suelo y descomposición de excretas, que afecta directamente a las lombrices; ya que bajo la copa del árbol es el lugar donde los animales toman la sombra durante el día, se protegen de la lluvia o se guarecen durante la noche. Sin embargo si hubo una diferencia significativa ( $P < 0.06$ ) por el efecto del sistema, en la cual la mayor población y biomasa fue para el sistema Ad, lo que indica que la presencia del componente leñosos beneficia el aumento en la población y biomasa de lombrices.

El pH del suelo bajo la copa de *A. mangium* presentó un incremento en la época húmeda, esto coincide con lo reportado por Kamara y Haque (1992) quienes encontraron mayores niveles en pH al disminuir la distancia al fuste del árbol.

El efecto de la época sobre el pH, posiblemente se debió a las condiciones del sitio y la especie arbórea en el SSP (*A. mangium*). Similar a lo reportado por Fernández *et al.* (1997) estos autores encontraron que en sitios con pH de 7.1 no hubo diferencias bajo la copa de *Bastardiopsis densiflora* y *Cordia Trichotoma* vs

*Balfourodendrom riedelianum*, sin embargo en el sitio con pH de 4.8 a 5.1, similares a las condiciones del presente estudio, si observaron diferencias significativas por influencia de la copa.

La humedad por efecto de la época fue mayor en 38% respecto a la seca, mientras que bajo la copa fue mayor el porcentaje de humedad del suelo que fuera de esta. Similar a lo reportado por Kamara y Haque (1992), donde la humedad bajo la copa del árbol fue mayor en un rango de 1.3 a 2 veces más que fuera de la copa, en el presente estudio al humedad del suelo fue 1.04 veces mayor bajo la copa que fuera de esta.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio muestra que la producción de hojarasca y el aporte de nutrimentos de este fue mayor en el sistema de Ad comparado con Bd.

La concentración de fósforo foliar fue mayor en los sistemas silvopastoriles con *A. mangium* comparado con *B. humidicola* sola y, dentro de los sistemas arborizados el sistema Ad fue mayor comparado a Bd. La época tuvo un efecto marcado en la concentración de fósforo, que fue mayor en la época húmeda.

La época influencia positivamente la actividad biológica, a mayor humedad se incrementó la población de hongos endomicorrízicos, así mismo la población y biomasa de lombrices.

La población de hongos endomicorrízicos, no se diferenció por efecto de la copa del árbol ni por la densidad o la época, sin embargo es posible que se requiera de un estudio mas prolongado, que registre la dinámica de la población de manera secuencial.

Referente a la colonización, esta fue mayor en el sistema Bd durante la época seca. El género más abundante en el sistema SSP fue *Glomus* sp. esto posiblemente se debe a que *A. mangium* se caracteriza por presentar esta asociación con el género antes mencionado.



La época húmeda influyó positivamente a la biomasa y población de lombrices, así también la densidad arbórea, ya que el sistema Ad vio incrementada su población aproximadamente 70% durante la época húmeda comparada a la época seca.

## 6. LITERATURA CITADA

- Alder, D.; Synnott, T. J. 1992. Permanent Sample Plot Techniques for Mixed Tropical Forest. Englad, University of Oxford p. 8-9, 69, 82, 86.
- Anderson, T.H.; Ingram, J.S.I. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. Wallingford, U.K.C.A.B. International. 221 p.
- Arias, I.; Koomen, I.; Dodd, J.C.; Whitep, P.; Hayman, D.S. 1991. Growth responses of mycorrhizal and mycorrhizal tropical forage especies to diferent leveles of soil phosphate. Plant and soil 132:253-260.
- Bâ, A.M.; Dalpé, Y.; Guissou, T. 1996 Les glomales d'acacia holosericea et d'acacia mangium. Bois et Forêts des Tropiques. 250(4):5-18.
- Badía, V.D. 1995. Biología del suelo Geórgica 4: 235-259.
- Belsky, J.A.; 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. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo 164 p.
- Borie, F.; Barea, J.M. 1981. Ciclo del fósforo. 1 Formas del elemento en los suelos y su disponibilidad para la plantas y microorganismos. Anales de Edafología y Agrobiología 40: 2351-2364.
- Brundrett, M.; Melville, L.L.; Peterson, L. 1994. Practical methods in micorrhiza research. Canada Mycologue Publications 161 p.
- Bui, A.X.; Luu, H.T.; Doing, K.N.; Preston, T.R. 1992. Effect of position in the tree and pretreatment of *Acacia mangium* leaves on rumen dry matter and nitrogen degradabilities. Livestock Research for Rural Development 4(2):s/p
- Cooperband, L. 1992. Soil phosphorus dynamics in a humid tropical silvopastoral system. Ph. D. Thesis, Ohio, Ohio State University, EE.UU. 400p.
- Cruz, De La R.E.; Yantasath, K. 1993. Symbiotic associations *In: Acacia mangium* Growing and Utilization. Eds. K. Awang y D. Taylor. Bangkok, Tailandia. p. 101-111.
- Cuervo, J.; Rivas, P.G.G. 1997. Hoja técnica: Micorrizas. MIP-CATIE. 20:i-iv.
- Esquivel, Q.J.O. 1997. Efecto del componente arbóreo de un sistema silvopastoril sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbial y densidad de lombrices en un suelo bajo pastoreo, en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Costa Rica. 65 p.
- Fernández, R.; Montagnini, F.; Hamilton, H. 1997. The influence of native species

on soil chemistry in a subtropical humid forest region of Argentina. *Journal of Tropical Forest Science*. In press.

- Fisher, R.F. 1995. Amelioration of degraded Rain Forest soils by plantations of native trees. *Soil Science Society American Journal*. 59:544-549
- Fraile, M.J. 1989. Poblaciones de lombrices de tierra (*Oligochaeta:annelidae*) en una pastura de *Cynodon plectostachyus* (pasto estrella) asociada con árboles de *Erythrina poeppigianna* (poró), una pastura asociada con árboles de *Cordia alliodora* (laurel), una pastura sin árboles y vegetación a libre crecimiento, en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Costa Rica. 236p.
- Habte, M.; Soedarjo, M. 1996. Response of *Acacia mangium* to vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation, soil Ph, and soil P concentration in an oxisol. *Canadian Journal of Botany* 74:155-161.
- Haselwandter, K.; Bowen, G. 1996. Mycorrhizal relation in trees for agroforestry and land rehabilitation. *Forest Ecology and Management* 81:1-17.
- Haydock, K.P.; Shaw, N.H. 1975. The comparative method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandary* 15:169-171.
- Hayman, D.S.; Mosse, B. 1971. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. *New Phytology* 70: 19-27.
- Henríquez, C.; Bertsch, F.; Salas, R. 1995. Fertilidad de suelos, Manual de Laboratorio. Asociación Costarricense de Ciencia del Suelo. San José, C.R 64 p.
- Hetrick, B.A.; Wilson, G.W.; Owensby, C.E. 1989. Influence of mycorrhizal fungi and fertilization on big bluestem seedling biomass. *Journal of Range Management* 42(3): 213- 216.
- Howeler, R.H.; Sieverding, E.; Saif, S. 1987. Practical aspects of micorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant and Soil* 100:249-283.
- Jeffries, P.; Barea, J.M. 1998. Biochemical cycling and arbuscular mycorrhizas in the sustainability of plant-soil systems. *In: Impact of Arbuscular Micorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. S. Gianinazzi y H. Schüepp (eds) 1994. Birkhäuser Verlag Basel Swirzertland.
- Joner, E.J.; Jakobsen, I. 1995. Growth and extracelular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 27(9): 1153-1159.
- Kamara, C.S.; Haque, I. 1992. *Faidherbia albida* and its effects on Ethiopian highland Vertisols. *Agroforestry Systems* 18:17-29.

- Mecinas, L.J.; Door, R.C.; Chung, M.A.; Moreno, D.P. 1991. Micorrizas en tres especies forestales de la amazonia Peruana. *Revista Forestal del Perú* 18 (2):29-43.
- Pezo, D.; Ibrahim, M. 1998. *Sistemas Silvopastoriles. Módulos de Enseñanza Agroforestal No 2. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ* 258 p.
- Philips, J.M.; Haymand, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and VA mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55:158-161.
- Powell, C.L.I.; Bagyaraj, D.J. 1986. VA mycorrhizae: Why all the interest? *In: VA Mycorrhiza. 2ª ed. Conway Li. Powel y D. Joseph Bagyarak (Eds) 1984.* 223 p.
- Rabatin, S.C.; Stinner, B.R. 1989. The significance of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal-Soil macroinvertebrate intereactions in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 27:195-204.
- Rao, M.R.; Ong, C.K.; Pathak, P.; Sharma, M.M. 1991. Productivity annual cropping and agroforestry system on a shallow Alfisol in semi-arid India. *Agroforestry Systems* 15:51-63.
- Sánchez, P.A.; Salinas, J.S. 1981. Low-imput technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical america. *Advances in Agronomy* 34:279-398.
- Sánchez. P.A. 1995. Science in agroforesty . *Agroforestry Systems* 30:5-55.
- Schachtman, D.P.; Reid, R.J.; Ayling, S.M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116:447-453.
- Sharpley, A.N.; Syers, J.K.; Springett, J.A. 1979. Effect of surface-casting earthworms on the transport of phosphorus and nirogen in surface runoff from pasture. *Soil Biology and Biochemistry* 11:459-462.
- Shelton, H.M.; Humpherys, L.R.; Batello, C. 1987. Pastures in the plantations of Asia and the Pacific: performance and prospects. *Tropical Grasslands* 21:159-168.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical cooperation, Federal Republic of Germany. Eschborn. *Scriftenreihe der GTZ. No. 224.* 371 p.
- Singh, K.; Chauhan, H.S.; D.K. Raput, D.K. Y Singh, D.V.1989. Report of a 60 month satudy chemical properties and productivity under Poplar (*P. deltoides*) and Eucalyptus (*E. hybrid*) interplanted with aromatic grasses. *Agroforestry Systems* 9:37-45.
- Smith, S.E.; Gianinazzi-Pearson, V. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant*

- physiol. Plant Mol. Biol. 39: 221-244.
- Syers, J.K Y Springett, J.A. 1984. Earthworms and soil fertility. *Plant and Soil*. 76:93-104.
- Szott, L.T.; Fernandes, C.M.; Sanchez, P.A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45:127-152.
- Szott, L.T.; Kass, D. 1993. Fertilizers in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 23:157-176.
- Tian, G.; Kang, B.T.; Brussaard, L. 1997. Effect of mulch quality on earthworm activity and nutrient supply in the humid tropics. *Soil Biology and Biochemistry* 29 (3/4): 369-373.
- Tropical Soil Biology And Fertility Programme- 1989. TSBF methods hanbook. De. By J.M. Anderson; J.S.I. Igram. S.I., IUBS, UNESCO-MAB. 171 p.
- Tsai, L.M. 1992. Research on growth and yield, litter production, and nutrient cycling in acacias. *In Tropical acacias in East Asia and the Pacific: proceeding*. K Awang and D Taylor. Bangkok, Tailandia (Eds), Winrock International/FAO. p. 72-75.
- Umaña, C. 1996. Mineralización de la materia orgánica del suelo bajo tres ecosistemas el trópico húmedo en Costa Rica. Tesis Lic. En Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotécnia. C.R. UCR. 74 p.
- Velasco, T.J.A. 1998. Productividad forrajera, aporte de fósforo foliar y dinámica de los hongos endomicorrízicos y lombrices, en una pradera de *Brachiaria humidicola* sola y en asocio con *Acacia mangium*. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE.
- Walker, C. 1983. Taxonomic concepts in the *Endogonacea*: spore wall characteristics in species descriptions. *Micotaxon* 18:433-455.
- Walkley; Black. 1990. *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties-Part 2*. 2ª Ed. Agronomy Serie No.9.

---

## CONCLUSIONES Y APLICACIONES GENERALES

---

---

### CONCLUSIONES

---

La productividad forrajera declinó al incrementarse la población arbórea, pero la relación hoja tallo fue significativamente más alta para los sistemas arborizados que *B. humidicola* en monocultivo, tanto en la época seca como húmeda. Esta situación favorece la calidad del forraje debido a que es en las hojas donde se encuentran la mayor proporción de nutrimentos necesarios para la nutrición animal (Minson, 1990).

Las concentraciones de fósforo total, orgánico y disponible en el suelo se incrementaron al aumentar la densidad de plantación en los sistemas silvopastoriles, esto se reflejó en mayor concentración de fósforo foliar de *B. humidicola*.

Bajo la copa de *A. mangium* comparado con fuera de esta, se observó en ambas épocas una ligera superioridad en la población de hongos endomicorrízicos; respecto a la colonización esta fue mayor en el sistema baja densidad en la época seca, debido posiblemente a que el pH fue menor a 5, este comportamiento lo reporta Habte y Soedarjo (1996) y en el caso de las lombrices su incremento en población y biomasa se vio mas influenciado por la mayor precipitación y densidad de plantación que debido a la influencia de la copa, mostrando alta sensibilidad a los cambios ambientales.

---

### APLICACIÓN PRODUCCIÓN ANIMAL

---

Los resultados de este estudio mostraron que la producción total de materia seca de los sistemas silvopastoriles fue más bajo que *B. humidicola* en

monocultivo. Sin embargo, la producción de biomasa de hojas verdes y tallo fue mas alto para los sistemas arborizados y esto tiene relevancia en la producción animal de los trópicos. El resultado de varios estudios nutricionales muestran que el consumo de materia seca está positivamente correlacionado con el rango de producción de materia verde (Minson, 1990; Humphreys, 1991). En general la biomasa de hoja verde es caracterizada por una alta concentración de nutrimentos (N, P, K) y digestibilidad de la materia seca comparada con la biomasa del tallo, y en este estudio se espera mayores ganancias de peso vivo en el sistema silvopastoril comparado con la pastura en monocultivo.

Por otro lado, en la época seca el sistema silvopastoril mantuvo mayores concentraciones de proteína cruda en biomasa verde comparado con el monocultivo de *B. humidicola* (Bolivar, 1998). Esto es un aspecto importante considerando que durante la época seca existe poco forraje disponible en las pasturas (Franco, 1997).

---

## DIVERSIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

---

La integración de los árboles a sistemas silvopastoriles representa una buena alternativa para diversificar la producción ganadera, sobre todo por los altos precios que se pagan por la madera y los bajos precios internacionales de la carne en el mercado (Kiaomwotz, 1996).

La *A. mangium* es una especie de crecimiento rápido y en condiciones de suelos ácidos con buen drenaje se ha mostrado que presenta una ventaja comparativa sobre las especies *Cordia alliodora* y *Tectona grandis* (Kapp et al., 1997).

Cabe mencionar que en Panamá el área de *A. mangium* se ha incrementado significativamente durante los últimos años debido a los incentivos que el gobierno ofrece en la reforestación.

Aunque en este estudio no se hizo un análisis económico, se recomienda que se estudien las relaciones entre la actividad ganadera y forestal, para determinar las densidades optimas que se puedan establecer en los sistemas considerando otros servicios ambientales.

---

## MEJORAMIENTO DE LA FERTILIDAD Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO

---

Los resultados de este estudio y de Bolívar (1998) que se realizó en el mismo sitio, demostró que *A. mangium* contribuyó en el mejoramiento en la concentración de fósforo y nitrógeno del suelo, dos elementos muy importantes para sostener la productividad de las pasturas. En este estudio se encontró, una alta colonización de hongos endomicorrízicos al incrementarse la densidad arbórea y respecto a la población ésta estuvo positivamente correlacionada con la concentración de fósforo foliar en la *B. humidicola*. Entonces la mayor concentración de fósforo observado en el sistema silvopastoril comparado con el monocultivo de pasto, tiene mucha importancia en América tropical, considerando que el 55% (822 millones ha<sup>-1</sup>) de los suelos son Oxisoles y Ultisoles, deficientes en fósforo y con altas saturaciones de Aluminio (49 y 87%) (Sánchez y Salinas, 1981). Además la aplicación de fósforo para eliminar deficiencias presenta un costo elevado para el finquero.

/ La biomasa de lombrices fue más alta a mayor densidad arbórea aunque esta diferencia únicamente se presentó en los meses de mayor precipitación, debido a esto, posiblemente la concentración de fósforo total fue mayor en los sistemas arborizados, donde la biomasa de lombrices se correlacionó positivamente con la concentración de fósforo total en el suelo.

En suma los sistemas silvopastoriles contribuyen aumentando la diversidad biológica. La presencia de hongos endomicorrízicos contribuye a incrementar las concentraciones de fósforo foliar en la pastura y la presencia de lombrices en estos sitios pueden incrementar la descomposición de la materia orgánica (Syers y Springett, 1984) y contribuir en mejorar la estructura del suelo.

---

## SECUESTRO DE CARBONO

---

El servicio de carbono es otro factor que está recibiendo mucha importancia debido a los problemas de calentamiento global. *A. mangium* es una especie de rápido crecimiento que puede almacenar gran cantidad de CO<sub>2</sub>, pudiendo tener un valor agregado para los sistemas silvopastoriles. Lejos de lo que se pudiera



pensar, la presencia de hongos endomicorrízicos participa en el secuestro de carbono, se ha estimado que la retención y respiración por la simbiosis de los hongos endomicorrízicos está en un rango de 4 a 20% del total realizado bajo del suelo, sin embargo las tasas no fueron calculadas porque la biomasa de hifa no fue cuantificada (Rygiiewicz y Andersen, 1994). Por lo tanto, este sería un servicio que presta los hongos endomicorrízicos al sistema.

Además, los estudios de Ibrahim (sin publicar) muestran que el contenido de materia orgánica bajo los suelos de *A. mangium* ha aumentado significativamente en solo cinco años de pastoreo, demostrando la capacidad de este árbol a incorporar carbono al sistema, aunque habría que tomar en consideración la participación de los hongos endomicorrízicos, porque estos incrementan la retención de carbono en las raíces, según reporta Rygiiewicz y Andersen (1994) en un estudio realizado con *Pinus ponderosa*.

---

#### LITERATURA CITADA

- Bolivar, V.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. (In press)
- Franco, V.M.H. 1997. Evacuación de la calidad nutricional de *Cratylia argentea* como suplemento en el sistema de producción doble propósito en el trópico subhúmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc., CATIE. 75 p.
- Kapp, G.B.; Beer, J.; Lujan, R. 1997. Species and site selection for timber production on farm boundaries in the humid Atlantic lowlands of Costa Rica and Panama. *Agroforestry Systems* 35:139-154
- Minson, D. 1990. Forage in ruminant nutrition. Cuha, T. (ed.). Academia Press Inc. London. 483p.
- Rygiiewicz, P.T.; Andersen, C.P. 1994. Mycorrhizae alter quality and quantity of carbon allocated below ground. *Nature* 369:58-60
- Sanchez, P.A.; Salinas, J.G. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical america. *Advances in Agronomy* 34:279-298
- Syers, J.K.; Springett, J.A. 1984. Earthworms and soil fertility. *Plant and Soil* 76:93-104

## ANEXOS

**ANEXO 1 A. Arreglo en parcelas divididas:** constó de dos factores (sistema y época), el factor sistema tuvo tres niveles: pradera en monocultivo (Nd), 120 (Bd) y 240 (Ad) árboles por hectárea y el factor época dos niveles: época seca (febrero-abril) y húmeda (junio y julio).

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + r_j(\alpha_i) + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i=1,2,\dots,a \quad j=1,2,\dots,b \quad k=1,2,\dots,n$$

$\mu$ : media

$\alpha_i$ : efecto del  $i$ -ésimo sistema

$r$ : repetición.

$r\alpha_i$ : error asociado a la parcela principal.

$\beta_k$ : efecto asociado a la  $j$ -ésima época.

$(\alpha\beta)_{ij}$ : efecto de interacción del  $i$ -ésimo sistema con la  $j$ -ésima época.

$\varepsilon_{ijk}$ : error asociado a la subparcela.

**Análisis de varianza de parcelas divididas para la comparación de los sistemas de *B. humidicola* sola y con *A. mangium*.**

F.V.	Ecuación	G.L.
Sistema	(i-1)	2
Error (sistema)	(r-1) i	9
Epoca	(j-1)	1
Sistema *Epoca	(i-1) (j-1)	2
Error Epoca	i(r-1) (j-1)	9
TOTAL	(i r j-1)	23

**ANEXO 2 A. Arreglo en parcelas sub-divididas:** constó de tres factores (sistema, distancia y época); el factor sistema tuvo dos niveles, Bd y Ad; el factor influencia de la copa (sub-parcela) tuvo dos niveles: bajo la copa (Bcopa) y fuera de la copa (Fcopa) de *A. mangium* y el factor época (sub-subparcela) con dos niveles época seca y húmeda.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_j + r(\alpha_i) + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + r\beta_j(\alpha)_{j/i} + \phi_k + (\phi\alpha)_{ki} + (\phi\beta)_{kj} + \varepsilon_{ijk}$$

$\mu$ : media

$\alpha_i$ : efecto del i-ésimo sistema.

r: repetición.

$r(\alpha_i)$ : error asociado a la parcela principal

$\beta_j$ : efecto asociado a la j-ésima época

$(\alpha\beta)_{ij}$ : efecto de interacción del i-ésimo sistema con la j-ésima época.

$r\beta_j(\alpha)_{j/i}$ : error asociado a la sub parcela.

$\phi_k$ : efecto de la k-ésima época.

$(\phi\alpha)_{ki}$ : efecto de la interacción de la k-ésima época con la i-ésimo sistema.

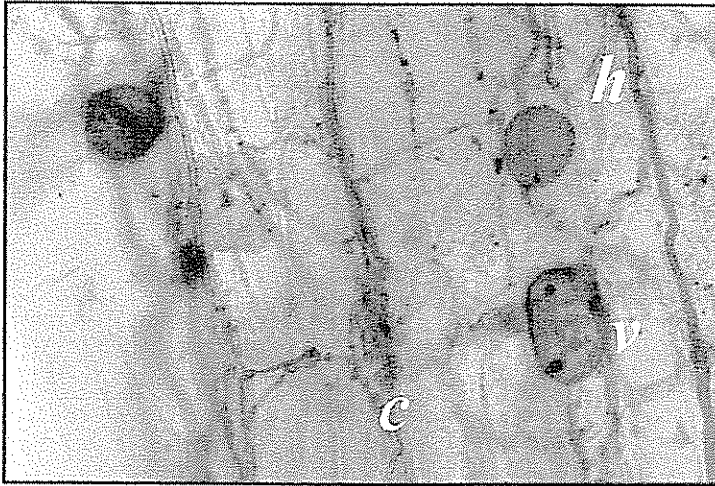
$(\phi\beta)_{kj}$ : efecto de la k-ésima época con la j-ésima distancia.

$\varepsilon_{ijk}$ : error asociado a la sub-subparcela.

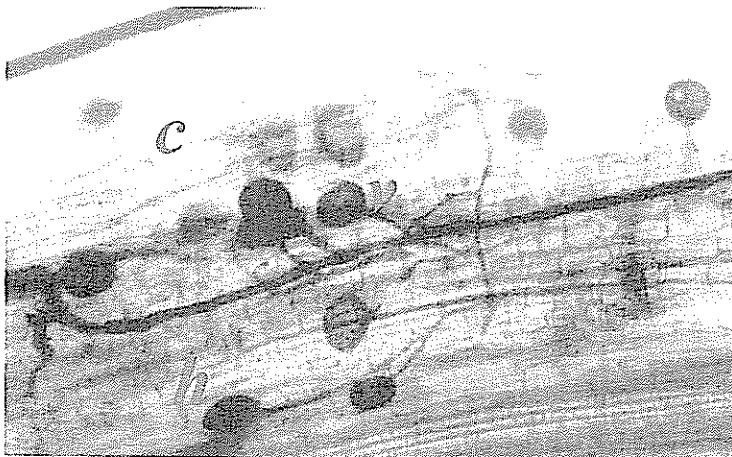
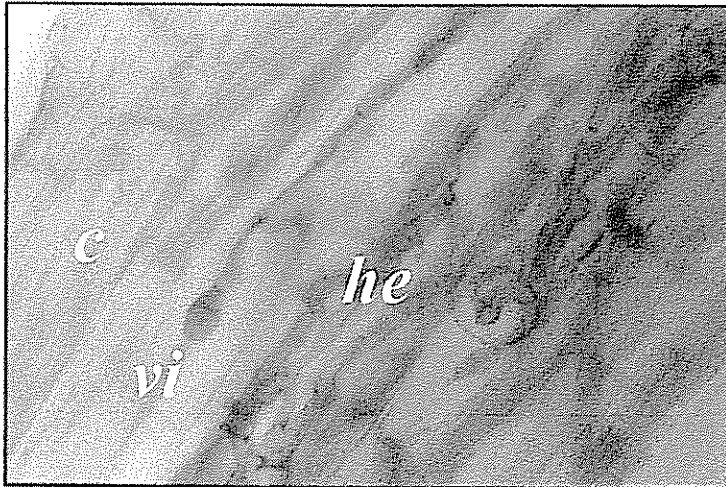
**Análisis de varianza de parcelas divididas para la comparación de los sistemas de *B. humidicola* sola y con *A. mangium*.**

F.V.	Ecuación	G.L.
Sistema	(i-1)	1
Error (sistema)	(r-1) i	6
Distancia	(j-1)	1
Sistema *Distancia	(i-1) (j-1)	1
Error Sistema (Distancia)	(r-1) (i-1)j	6
Epoca	(k-1)	1
Epoca*Sistema	(k-1) (i-1)	1
Epoca*Distancia	(k-1) (j-1)	1
Epoca*Sistema*Distancia	(k-1) (i-1) (j-1)	1
TOTAL	(n-1)	63

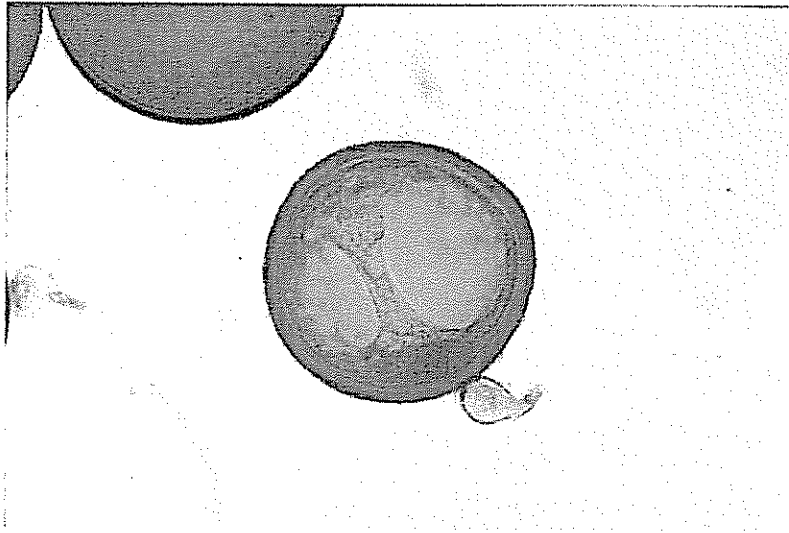
## ANEXO 3A



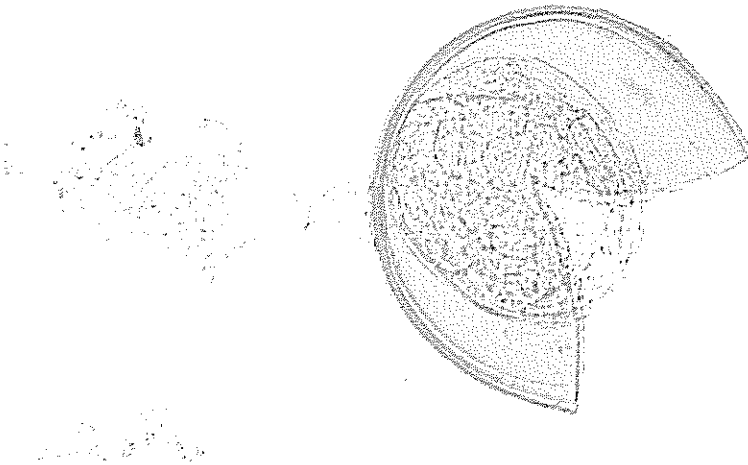
Patrón de colonización de *Glomus* spp. en raíces de *Brachiaria humidicola* que se encontraba asociada con *Acacia mangium* en un sistema silvopastoril (Aumento 40x: c=córtex, v=vesícula, vi=vesícula inicial, h=hifa, he=hifas engrosadas). Veraguas, Panamá, 1998. (Fotos y montaje: J.A. Velasco, N. Vásquez y G.G. Rivas).



## ANEXO 4A



Espora del género ***Gigaspora*** spp. presente en el sistema silvopastoril *Brachiaria humidicola* en asocio con *Acacia mangium*. Veraguas, Panamá, 1998. (fotos 40x: G.G. Rivas).



Espora del género ***Entrophospora*** spp. presente en el sistema silvopastoril *Brachiaria humidicola* en asocio con *Acacia mangium*. Veraguas, Panamá, 1998. (fotos 40x: G.G. Rivas).