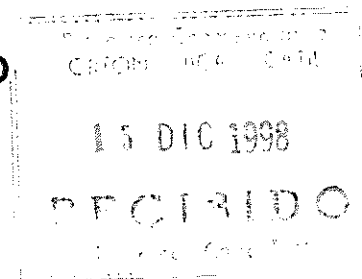


CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION

ESCUELA DE POSTGRADO



EFFECTO DEL MULCH DE *ACACIA MANGIUM* (Will.) Y *ERYTHRINA POEPPIGIANA* (Walp.) O.F. COOK. SOBRE EL CRECIMIENTO Y EL CONTENIDO DE NUTRIENTES EN *PANICUM MAXIMUM* (Jacq.) Y *BRACHIARIA HUMIDICOLA* (Rendle) CON Y SIN ASOCIO DE *CENTROSEMA MACROCARPUM* (Benth)

POR

ANA MARIA DOMINGUEZ CORONA



Turrialba, Costa Rica
1998

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE)
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSTGRADO

15 DIC 1998

RECIBIDO

**Efecto del mulch de *Acacia mangium* (Will.) y *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook.
sobre el crecimiento y el contenido de nutrientes en *Panicum maximum* (Jacq.) y *Brachiaria
humidicola* (Rendle.) con y sin asocio de *Centrosema macrocarpum* (Benth.)**

Tesis sometida a la 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 el grado de :

Magister Scientiae

Por

Ana María Domínguez Corona

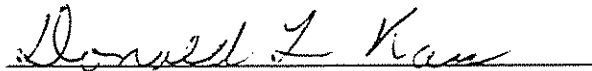
Turrialba, Costa Rica

1998.

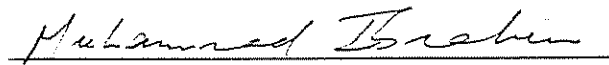
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección de la Escuela de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

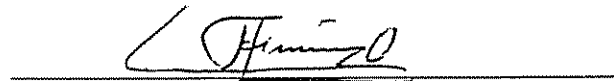
FIRMANTES:



Dr. Donald Kass, Ph.D.
Profesor Consejero



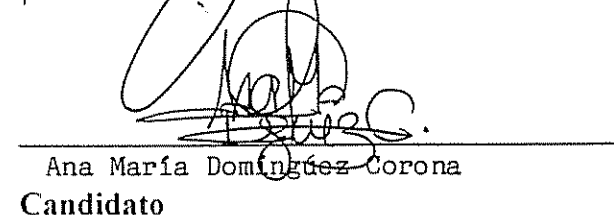
Dr. Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



Dr. Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Asesor

Miembro Comité Asesor


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


Ana María Domínguez Corona
Candidato

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, que ha sido y es mi inspiración para lograr otra mas de mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la Familia Domínguez Corona, por su apoyo en todo momento.

A mis amigos Judith Cevallos y Jesús Rosales por su amistad y compañerismo, con quienes compartí lo mejor de mi estancia en Costa Rica y en el CATIE.

A mis compañeros Mexicanos, al Dr. Miguel Caballero y su esposa Julieta por permitirnos disfrutar muy buenos momentos durante estos dos años.

A la MSc. Juana Elizabeth Pérez Mancía por su compañerismo, paciencia y sus acertadas opiniones sobre este trabajo, a los compañeros y personal del CATIE quienes con su amistad y ayuda participaron en la realización del mismo.

A mi comité asesor: Dr. Donald C. Kass, Dr. Muhammad A. Ibrahim y Dr. Francisco Jiménez, por su colaboración en la dirección de este trabajo.

INDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiv
I. CAPITULO 1. INTRODUCCION GENERAL	1
II CAPITULO 2 Efecto de la aplicación de mulches de leguminosas leñosas sobre el crecimiento y la producción de biomasa de las gramíneas <i>Panicum maximum</i> y <i>Brachiaria humidicola</i> con y sin asocio con <i>Centrosema macrocarpum</i>	5
2.1 Introducción	5
2.2 Materiales y Métodos	5
2.2.1 Localización del estudio	7
2.2.2 Metodología experimental	7
2.2.2.1 Tratamientos	7
2.2.2.2 Diseño estadístico	7
2.2.2.3 Especies vegetales	8
2.2.2.4 Siembra	8
2.2.2.5 Suelo	9
2.2.2.6 Mulch	9
2.2.2.7 Determinación de los niveles de mulch	10
2.2.3 Variables experimentales	10
2.2.3.1 Crecimiento	10
2.2.3.2 Producción de biomasa	10
2.3 Resultados y discusión	12
2.3.1 Crecimiento	12

2.3.2 Producción de biomasa.....	16
2.4 Conclusiones.....	22
2.5 Referencias.....	23

III. CAPITULO 3. Efecto del mulch de *Acacia mangium* y *Erythrina poeppigiana* sobre el contenido y la eficiencia de absorción de nutrientes de *Panicum maximum* y *Brachiaria humidicola* con y sin asocio de *Centrosema macrocarpum*. 25

3.1 Introducción.....	25
3.2 Materiales y Métodos.....	28
3.2.1 Localización del estudio.....	28
3.2.2 Metodología experimental.....	28
3.2.2.1 Tratamientos.....	28
3.2.2.2 Diseño estadístico.....	28
3.2.2.3 Especies vegetales.....	28
3.2.2.4 Siembra.....	29
3.2.2.5 Suelo.....	30
3.2.2.6 Mulch.....	30
3.2.2.7 Determinación de los niveles de mulch.....	30
3.2.3 Variables experimentales.....	31
3.2.3.1 Concentración de nutrientes.....	31
3.2.3.2 Eficiencia de absorción.....	32
3.3 Resultados.....	32
3.3.1 Concentración de nutrientes en la planta.....	32
3.3.1.1 Calcio.....	32
3.3.1.2 Magnesio.....	33
3.3.1.3 Potasio.....	35
3.3.1.4 Fósforo.....	35
3.3.1.5 Nitrógeno.....	36
3.3.1.6 Cobre y Zinc.....	38

3.3.1.7 Manganeseo.....	41
3.3.2 Concentración de nutrientes en raíces.....	41
3.3.3 Eficiencia de Absorción.....	43
3.4 Discusión.....	48
3.4.1 Concentración de nutrientes en la planta.....	48
3.4.1.1 Calcio y Magnesio.....	48
3.4.1.2 Potasio.....	49
3.4.1.3 Fósforo.....	50
3.4.1.4 Nitrógeno.....	51
3.4.2 Concentración de nutrientes en raíces.....	52
3.4.3 Eficiencia de Absorción.....	54
3.5 Conclusiones.....	57
3.6 Referencias.....	60
IV. CAPITULO 4. CONCLUSIONES GENERALES.....	63
V. ANEXOS.....	67

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Tratamientos utilizados en el ensayo	8
Cuadro 2.2. Características químicas del suelo procedente de San Isidro, Costa Rica.....	9
Cuadro 2.3. Características químicas del mulch de <i>Acacia mangium</i> y <i>Erythrina poeppigiana</i>	9
Cuadro 2.4. Cantidades aplicadas de mulch por maceta (g) y datos utilizados para la determinación	10
Cuadro 2.5. Producción de Biomasa de <i>B. humidicola</i> y <i>P. maximum</i> (g/maceta) en la interacción gramínea-asocio	18
Cuadro 3.1. Tratamientos utilizados en el ensayo.....	29
Cuadro 3.2. Características químicas del suelo procedente de San Isidro, Costa Rica.....	30
Cuadro 3.3. Características químicas del mulch de <i>Acacia mangium</i> y <i>Erythrina poeppigiana</i>	30
Cuadro 3.4. Cantidades aplicadas de mulch por maceta (g) y datos utilizados para la determinación	31
Cuadro 3.5. Concentración de Ca (g/planta) en la interacción gramínea-asocio.....	33
Cuadro 3.6. Concentración de K (g/planta) en la interacción gramínea-asocio.....	35
Cuadro 3.7. Concentración de P (g/planta) en la interacción gramínea-asocio.....	36

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Crecimiento de <i>B. humidicola</i> y <i>P. maximum</i> en el periodo de mediciones	13
Figura 2.2. Crecimiento de las gramíneas asociadas y sin asocio.....	13
Figura 2.3. Tendencia de crecimiento de los forrajes estudiados con los niveles de mulch de <i>A. mangium</i> (2.3 a) y <i>E. poeppigiana</i> (2.3 b) aplicados en el periodo de medición, para <i>B. humidicola</i> (2.3c) y <i>P. maximum</i> (2.3d)	15
Figura 2.4. Producción de biomasa de <i>B. humidicola</i> en la interacción gramínea-asocio-mulch....	17
Figura 2.5. Producción de biomasa de <i>P. maximum</i> en la interacción gramínea-asocio-mulch....	17
Figura 2.6. Producción de biomasa de <i>P. maximum</i> y <i>B. humidicola</i> en la interacción gramínea mulch	19
Figura 2.7. Producción de biomasa total de <i>P. maximum</i> y <i>B. humidicola</i> en la interacción gramínea mulch	19
Figura 2.8. Producción de biomasa para gramíneas (2.8 a), y para biomasa total (2.8 b), en la interacción asocio mulch	21
Figura 3.1. Concentración de Ca en el follaje de <i>B. humidicola</i> y <i>P. maximum</i> en la interacción gramínea-mulch.....	34
Figura 3.2. Concentración de Ca en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch	34
Figura 3.3. Concentración de Mg en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch	34
Figura 3.4. Concentración de K en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch	37
Figura 3.5. Concentración de P en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción gramínea-mulch	37
Figura 3.6. Concentración de P en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch	37
Figura 3.7. Concentración de N en el follaje de <i>B. humidicola</i> y <i>P. maximum</i> en la interacción gramínea-mulch	39
Figura 3.8. Concentración de N en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch	39

Figura 3.9. Concentración de Cu en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch	39
Figura 3.10. Concentración de Zn en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch	40
Figura 3.11. Concentración de nutrientes en raíces de <i>B. humidicola</i> (3.11 a) y <i>P. maximum</i> (3.11 b) en la interacción gramínea-asocio	42
Figura 3.12. Concentración de Ca (3.12 a), P (3.12 b), K (3.12 c), N (3.12 d) y Zn (3.12 e), en raíces de los tratamientos sin asocio y asociados para la interacción asocio mulch	44
Figura 3.13. Concentración de K en raíces de <i>B. humidicola</i> y <i>P. maximum</i> en la interacción gramínea-mulch	46
Figura 3.14. Porcentajes de eficiencia de absorción (EA) de N, Ca, Mg y K de <i>B. humidicola</i> (3.14 a) y <i>P. maximum</i> (3.14 b) en la interacción gramínea-asocio	47
Figura 3.15. Porcentajes de eficiencia de absorción (EA) de nutrientes por <i>B. humidicola</i> (3.15 a) y <i>P. maximum</i> (3.15 b) en la interacción gramínea-mulch	47
Figura 3.16. Porcentajes de eficiencia de absorción (EA) de nutrientes en los tratamientos sin asocio (3.16 a) y asociados (3.16 b) en la interacción asocio-mulch	47

INDICE DE ANEXOS

CUADRO A 1. Promedio de la concentración de nutrientes en el follaje en los diferentes niveles de gramínea mulch y asocio (efectos simples).....	68
CUADRO A 2. Promedios de la concentración de nutrientes en raíces para los diferentes niveles de gramínea mulch y asocio (efectos simples).....	68
CUADRO A 3. Promedios de los porcentajes de eficiencia de absorción (EA) de N Mg y K para los diferentes niveles de gramínea mulch y asocio (efectos simples).....	69

Domínguez, C.A.M. 1998. Efecto del mulch de *Acacia mangium* y *Erythrina poeppigiana* sobre el crecimiento y el contenido de nutrientes en *Panicum maximum* y *Brachiaria humidicola* con y sin asocio de *Centrosema macrocarpum*.

RESUMEN

El ensayo se realizó con el propósito de ofrecer información sobre la combinación de las diferentes alternativas para el mejoramiento y la recuperación de pasturas. El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de mulch de *Acacia mangium* o *Erythrina poeppigiana* sobre el crecimiento, producción de biomasa, concentración de nutrientes en el follaje y las raíces y la eficiencia de absorción de nutrientes de las gramíneas *Panicum maximum* CIAT 16061 y *Brachiaria humidicola*, con y sin asocio a la leguminosa *Centrosema macrocarpum* CIAT 5713. Para el análisis de la información se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de los tratamientos $2^2 \times 5$ y parcelas divididas en el tiempo con tres repeticiones. Los factores analizados fueron gramíneas, asocio, mulch, medición (tiempo en semanas) y sus combinaciones. *B. humidicola* tuvo mejor crecimiento y producción de biomasa con los dos niveles de asocio utilizados en comparación con *P. maximum*. Con la aplicación de 300 kg/ha de N de mulch de *E. poeppigiana* se encontraron los mejores resultados para esas dos variables. Con la aplicación de mulch de *A. mangium* el crecimiento y la producción de biomasa fueron menores que con el otro mulch utilizado, pero estos fueron significativamente mayores que el control. Para estas variables se concluyó que el aporte de mulch y el asocio con otra leguminosa favorecen el crecimiento y la producción de biomasa de los forrajes, pero los mejores rendimientos dependen del tipo y calidad de mulch utilizado. La eficiencia de absorción de nutrientes mostró diferencias significativas para las interacciones gramínea-asocio, gramínea-mulch y asocio mulch con los nutrientes N, Ca, Mg y K. La concentración de nutrientes en la planta tuvo diferencias significativas para las diferentes interacciones en cada nutriente. Para cada gramínea la concentración difirió dependiendo del nutriente y el nivel de mulch, para el cual los resultados no siguieron una tendencia definida. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de nutrientes en raíces para la interacción gramínea-asocio con Ca, Mg, P, N y Mn. El N fue encontrado en mayor cantidad para las dos gramíneas estudiadas en los dos niveles de asocio. La secuencia de concentración de nutrientes en las raíces fue $N > Ca > Mg > P$ en las dos gramíneas en esa

interacción. Las mayores concentraciones se encontraron en *B. humidicola* y en todos los casos de tratamientos asociados. En la interacción asocio-mulch, se encontraron diferencias significativas para Ca, K, P, N y Zn. Las concentraciones de Ca y P fueron mayores en los tratamientos asociados. De la misma manera el N fue mayormente encontrado en los tratamientos asociados, aunque no se encontró secuencia en los niveles de mulch, para todos ellos la concentración de nutrientes fue superior a la encontrada en los tratamientos de control. Únicamente la concentración de K mostró diferencias significativas en la interacción gramínea-mulch, siendo mayor en *B. humidicola* que en *P. maximum* pero en los dos casos el control tuvo la menor concentración con relación a los otros niveles de mulch. Para las variables relacionadas con los nutrientes se concluyó que la concentración y la eficiencia de absorción están en función de la aplicación de mulch y el asocio con la leguminosa, pero el efecto está influenciado por las características del mulch aplicado y su calidad y en gran medida por la capacidad genética de las plantas para tomar los nutrientes del suelo.

Domínguez, C.A.M. 1998. Effect of mulches of *A. mangium* and *E. poeppigiana* on growth and nutrient content of *P. maximum* and *B. humidicola* with or without association with *C. macrocarpum*.

SUMMARY

The study was carried out with the proposition of obtaining information about the combination of different alternatives for pasture improvement and recovery. The objective was to evaluate the effect of the application of mulch of *A. mangium* and *E. poeppigiana* on growth, biomass production, and nutrient concentration on the foliage and roots as well as the efficiency of nutrient absorption of the grasses *Panicum maximum* CIAT 16061 and *Brachiaria humidicola* with or without the association of the legume *Centrosema macrocarpum* CIAT 5713. For the analysis of data, a completely randomised design with three repetition was used with treatments having a factorial design $2^2 \times 5$ with split plots with respect to dates to treatment. Factors in the design were grass species, presence of herbaceous legume, and type and level of woody legume mulch. An analysis of variance was performed on the results, which indicated significant interactions among all factors. In all cases *B. humidicola* showed greater plant length and biomass production than *P. maximum*. The highest values of both these, variable was obtained with the higher level (e2) of application of *E. poeppigiana* mulch (300 kg of N/ha). With the application of mulch of *A. mangium*, plant length and biomass production, were lower than with *E. poeppigiana* mulch but significantly higher than without mulch application. It was concluded that both plant length and biomass production were affected by mulch application but that effect would depend on the quantity and type of mulch applied. Efficiency of nutrient absorption showed significant differences for the interactions grass associated legume, grass-mulch, and the association of mulch with the nutrients N, Ca, Mg, and K. Nutrient concentration in the plants was different for each nutrient, concentration differed with nutrients and level of mulch although no consistent tendency was observed. Statistically significant differences in nutrient concentration in the roots for the grass-legume associations in the cases of N, Ca, Mg, P and Mn. Higher N concentrations were founded in both grass species when associated with a legume. The sequence of nutrient concentration was $N > Ca > K > Mg > P$ for the association. In all the associated treatments, highest concentrations were found with *B. humidicola*. There were significant differences for Ca, K, P, Zn and N in the interaction mulch-association. Concentrations of Ca and P were greater in the

associated treatments. N levels were also higher with mulch addition although not proportional to the amount of mulch applied. Only K concentrations showed a significant effect for the mulch grass interactions, being greatest with *B. humidicola* than with *P. maximum* but in both cases the control had lower concentration than either mulch level. For the variables related to nutrient concentration, it was concluded that the concentration and efficiency of nutrient absorption depended on mulch application and legume association but the effect depend on mulch application and legume association but the effect depended on mulch quality and application rates as well as genetic differences in the capacity of the two species to absorb nutrients from the soil.

I. CAPITULO 1

1. INTRODUCCION GENERAL

La producción de alimentos en el ámbito mundial depende básicamente de la productividad agropecuaria y ésta, a su vez de la explotación de los recursos naturales que en la actualidad están siendo usados de una forma irracional, provocando que día a día disminuyan las áreas productivas del sector agropecuario.

Las grandes extensiones de tierras existentes en el trópico poseen un gran potencial para mantener e incrementar la producción de alimentos, sin embargo, el desconocimiento sobre el manejo adecuado de esas tierras de acuerdo con sus características, ha ocasionado su degradación convirtiendo un alto porcentaje de ellas en suelos pobres y erosionados. donde el tiempo para su recuperación está siendo rebasado por la velocidad de crecimiento poblacional y la consecuente necesidad de alimentos, provocando que más áreas de bosque sean convertidas a pastizales.

Actualmente, existen innumerables estudios sobre el manejo y recuperación de pasturas degradadas en los cuales, se han planteado diversas alternativas para detener los procesos de degradación. La introducción de especies adaptadas a los diversos tipos de suelos tropicales, los sistemas rotacionales de pastoreo, la asociación de especies herbáceas (gramíneas y leguminosas) y la combinación de éstas con especies leñosas, son algunas de las alternativas para dar un uso eficiente a los suelos y detener el empobrecimiento y la infertilidad de los mismos.

Se han realizado diversos estudios para evaluar la adaptación y productividad de especies forrajeras (gramíneas y leguminosas) en los suelos tropicales. De la misma forma la asociación de especies para producción de forrajes ha sido estudiada.

Se ha encontrado una amplia variedad de especies de gramíneas adaptables a las condiciones tropicales de baja fertilidad, exceso o deficiencia de humedad, altas temperaturas etc., entre ellas *Brachiaria* como una de las de mejor desempeño, además de otras como *Panicum*, *Andropogon*, *Cynodon*, *Pennisetum*, que además de su buena adaptación, poseen potencial respecto a su valor

nutritivo (Giraldo *et al.*, 1989; Hernández *et al.*; 1990; Hernández *et al.* 1993; Villareal y Chavez, 1991; Pezo *et al.* 1994).

Algunas especies leguminosas herbáceas que tienen un importante papel en la producción de forraje han sido también ampliamente evaluadas, entre ellas se encuentran *Centrosema*, *Arachis*, *Desmodium*, que han destacado en la producción ganadera por su alto contenido proteico y su desempeño al asociarlas con ciertas gramíneas lográndose excelentes producciones de forraje de alta calidad (Giraldo *et al.*, 1989; Hernández *et al.*; 1990; Hernández *et al.* 1993; Villareal y Chavez, 1991).

La capacidad de fijar N del ambiente de las especies leguminosas tanto herbáceas como leñosas es un atributo importante para considerarlas en el mejoramiento de la calidad forrajera. En este sentido, la importancia de los componentes leguminosos leñosos en las pasturas tropicales tiene grandes implicaciones en la producción misma de los pastos, así como en el mejoramiento y protección del suelo, debido a su capacidad de extraer nutrientes de perfiles profundos del suelo.

Además, la producción de follaje utilizado como alimento o como mantillo que queda en el suelo ayuda a la conservación de la humedad y aportando nutrientes una vez que inician su proceso de descomposición.

Entre los géneros de especies arbóreas consideradas adecuadas por ese tipo de características se encuentran *Erythrina*, algunos géneros de *Acacia*, otros como *Gliricidia*, *Cajanus*, *Leucaena* etc. que se han introducido en pasturas exitosamente (CATIE, 1991; Botero y Russo, 1996; Libreros, 1990; Bustamante, 1991).

La asociación de gramíneas con leguminosas ha sido probada como una estrategia para incrementar la productividad forrajera, estudios realizados por varios autores han demostrado el incremento en la producción, al producir forrajes en asociación. (Bustamante, 1991; Rodríguez, 1995; Libreros, 1990; Widin, 1977)

No solo la producción de forraje por si misma interesa cuando se habla de productividad en sistemas silvopastoriles. Las implicaciones de la introducción de especies leguminosas en pasturas, van más allá de la obtención de biomasa vegetal. Además de la característica de fijar N atmosférico, otros beneficios como la disminución de la acidez del suelo o el aporte de nutrientes con la hojarasca merecen ser analizados con mayor profundidad, pues son procesos fundamentales en la sostenibilidad del sistema.

Un manejo exitoso de los sistemas silvopastoriles podrá lograrse, si las especies utilizadas mantienen un equilibrio respecto a sus necesidades de utilización de nutrientes y a su crecimiento en las asociaciones de especies, de modo que la producción vegetal sea en muy poco afectada por la competencia de las plantas lo cual, en suelos poco fértiles sucede fácilmente, por ello la selección de las especies mas adecuadas es un factor fundamental para la producción de forraje.

El aporte de nutrientes de la hojarasca de árboles leguminosos y su utilización por el cultivo asociado es en la actualidad un tema de considerable importancia, pues la forma tradicional de aporte de nutrientes al suelo, mediante fertilizantes químicos a través del tiempo ha tenido consecuencias como la dependencia del suelo de los mismos, para poder cultivarlo y una continua salida de nutrientes del sistema que son tomados por el cultivo, pero que no retornan más al suelo rompiendo el ciclo y consecuentemente afectando la fertilidad

La liberación de nutrientes por la hojarasca de los árboles presentes en el pastizal está en gran medida en función de características como su composición, tamaño, edad, etc. (Vanlawe *et al*, 1997; Mafongoya *et al*, 1997; Handayanto; 1997). Por su parte, la utilización de esos nutrientes por la especie asociada está influenciada por el tiempo en el que son liberados los nutrientes, así como de su capacidad para absorberlos.

Algunas especies tienen mayor capacidad que otras para tomar los nutrientes del suelo, por lo cual, se considera a las mismas eficientes especialmente cuando los nutrientes se encuentran en pequeñas cantidades o son poco disponibles (Martínez y Haag, 1980). Este atributo depende en parte de las características genóticas de la especie (Clark, 1983).

La combinación del asocio de pasturas con la aplicación de hojarasca de leguminosas leñosas se estudia en el presente trabajo. Con base en los resultados de investigación sobre el asocio de pasturas y la introducción de leñosas en pastizales se ha planteado que ambas estrategias favorecen la producción forrajera en cuanto a cantidad y calidad. Las especies con las que se ha trabajado en este estudio se seleccionaron, por ser algunas de las más utilizadas, en condiciones del trópico por tanto este estudio será de gran utilidad para un gran número de productores que utilizan estas especies.

II. CAPITULO 2

2. “Efecto de la aplicación de mulches de leguminosas leñosas sobre el crecimiento y la producción de biomasa de las gramíneas *Panicum maximum* y *Brachiaria humidicola* con y sin asocio con *Centrosema macrocarpum*”.

2.1. INTRODUCCION

En el trópico hay un alto porcentaje de pasturas en una fase avanzada de degradación. Según los modelos de Toledo (1992), la degradación de pasturas se atribuye principalmente a la disminución de fertilidad de suelo (ej. N, P y K) a través del tiempo y a la falta de adaptación de las especies seleccionadas en suelos pobres.

Durante los últimos años se han evaluado gramíneas y leguminosas (herbáceas y leñosas), las cuales, están más adaptadas a suelos ácidos y tienen buen valor nutritivo. Entre ellas las gramíneas *Brachiaria humidicola*, *B. dictyoneura* y *Panicum maximum* se han identificado como promisorias para los suelos ácidos (Toledo, 1992; Villareal y Chávez, 1992). Respecto a las leguminosas, *Arachis pintoi* y *Centrosema macrocarpum* son las especies que más se adaptan a suelos ácidos. La mezcla de las leguminosas y gramíneas puede contribuir a la producción sostenible de las pasturas debido a la capacidad de la leguminosa para reciclar nutrientes en estos sistemas. Ibrahim (1994) encontró que *Arachis* fijó 128 kg N/ha/año en asocio con *B. brizantha*, manejada con una carga animal de 3 UA/ha, en el trópico húmedo de Costa Rica.

Además, la integración de especies leñosas de uso múltiple en pasturas ha recibido mucha atención en el desarrollo de opciones para la ganadería del trópico. Bajo este contexto, el CATIE ha realizado muchas investigaciones con el *Erythrina poeppigiana* para su uso en la alimentación animal y en asocio con gramíneas. Estudios realizados con ocho gramíneas asociadas a poró, muestran que la producción de forraje fue mayor en asocio comparada con aquella en monocultivo (Bustamante, 1991; Libreros, 1990). El poró es una especie bien adaptada al trópico húmedo y produce una cantidad significativa de biomasa que tiene alto contenido de nutrientes,

Rodríguez (1985) encontró una concentración en hojas de poró de 207 kg/ha/año de N, 11 kg /ha/año de P, 55 kg /ha/año de K, 46 kg /ha/año de Ca y 14 kg /ha/año de Mg

El manejo de esta especie en sistemas silvopastoriles puede permitir un reciclaje de cantidades significantes de nutrientes contribuyendo a una producción estable de la pastura y al mejoramiento de la fertilidad del suelo. Se ha reportado que esta especie puede aportar hasta 1543 kg /ha/año de materia seca en hojas y cuando se sembró asociada con king grass se encontró un promedio del contenido de N del 4.2%, 0.3% de P, 1.9% de K, 1.3% de Ca y 0.6% de Mg (Libreros, 1990).

Se ha promovido el manejo de *Acacia mangium* en sistemas silvopastoriles debido a la buena adaptación de esta especie a suelos ácidos con bajos niveles de P. Además, *A. mangium* es una leguminosa que fija nitrógeno y tiene capacidad de mejorar en nivel de P del suelo a través de la asociación con micorrizas (Velasco, 1998). Esta especie produce una significativa cantidad de hojarasca durante todo el año, sin embargo se ha observado que la descomposición de materia orgánica de esta especie es muy lenta debido a la presencia de compuestos secundarios (Halenda, 1989).

En lo referente a producción de hojarasca, Tsai (1992), señala que estudios realizados en *A. mangium* de cuatro años de edad demostraron que la cantidad de hojarasca acumulada fue de aproximadamente 6 ton/ha. Otros autores han encontrado producciones de 4.2 a 5.4 ton/ha de hojas de árboles ente 4 y 6 años de edad (Halenda, 1989).

La lenta descomposición de estas especies puede ser desventajosa en un sistema silvopastoril debido a que los nutrientes son capturados durante todos los ciclos de crecimiento de la pastura.

Con base en lo anterior se planteó este trabajo para determinar el efecto de mulches de calidad sobre la productividad y absorción de nutrientes de dos gramíneas tropicales manejadas en invernadero.

2.2. MATERIALES Y METODOS.

2.2.1. Localización del estudio.

El estudio se realizó en el invernadero del Area de suelos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. El sitio está ubicado a 9° 53' de Latitud Norte y 83° 38' de Longitud Oeste, a una altitud de 602 msnm. La temperatura media anual es de 21.7 °C con un rango entre 26.9 °C y 17.8 °C de temperaturas máxima y mínima promedio, respectivamente. La precipitación promedio anual es de 2636 mm. La humedad relativa es de 87.8% (CATIE, 1995). Según la clasificación de Holdrige (1987), el sitio se encuentra en la zona de vida denominada "Bosque Muy Húmedo Premontano".

En el invernadero, el promedio de las temperaturas medidas durante los meses de estudio (mayo a septiembre) oscilaron entre 32 °C de temperatura máxima y 20.3 °C como mínima.

2.2.2. Metodología experimental.

2.2.2.1. Tratamientos. Los tratamientos consistieron de dos tipos de pastos (*P. maximum* CIAT 16061 y *B. humidicola* CIAT 679), creciendo solos y en asocio con la leguminosa *C. macrocarpum*, y con aplicación de dos tipos de mulch (*E. poeppigiana* y *A. mangium*) en dos niveles (equivalente a 150 y 300 kg N/ha). El esquema de los tratamientos se presenta en el Cuadro 2.1

2.2.2.2. Diseño estadístico.

Para el análisis de la información se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo de tratamientos factorial $2^2 \times 5$ y parcelas divididas en el tiempo con tres repeticiones. Los factores analizados fueron gramíneas, asocio, mulch, medición (tiempo en semanas) y sus combinaciones. Se realizó análisis de varianza con el que se encontraron las interacciones con diferencias significativas de los tratamientos

Cuadro 2.1. Tratamientos utilizados en el ensayo.

Identificación Tratamiento	Gramínea	Leguminosa <i>C. macrocarpum</i>	Niveles de Mulch
PCNo PCE1 PCE2 PCA1 PCA2	<i>P. maximum</i>	con asocio	0 (No) <i>E. poeppigiana</i> n1 (e1) <i>E. poeppigiana</i> n2 (e2) <i>A. mangium</i> n1 (a1) <i>A. mangium</i> n2 (a2)
PN0 PE1 PE2 PA1 PA2		sin asocio	0 (No) <i>E. poeppigiana</i> n1 (e1) <i>E. poeppigiana</i> n2 (e2) <i>A. mangium</i> n1 (a1) <i>A. mangium</i> n2 (a2)
BCNo BCE1 BCE2 BCA1 BCA2	<i>B. humidicola</i>	con asocio	0 (No) <i>E. poeppigiana</i> n1 (e1) <i>E. poeppigiana</i> n2 (e2) <i>A. mangium</i> n1 (a1) <i>A. mangium</i> n2 (a2)
BN0 BE1 BE2 BA1 BA2		sin asocio	0 (No) <i>E. poeppigiana</i> n1 (e1) <i>E. poeppigiana</i> n2 (e2) <i>A. mangium</i> n1 (a1) <i>A. mangium</i> n2 (a2)

2.2.2.3. Especies vegetales. Las especies de gramíneas utilizadas fueron: *Panicum maximum* CIAT 16061 y *Brachiaria humidicola* CIAT 679, que se sembraron por semillas sexuales y asociadas o sin asocio con la leguminosa *Centrosema macrocarpum* CIAT 5713.

2.2.2.4. Siembra El ensayo inició en mayo de 1998. Cada especie de gramínea se sembró en una maceta con o sin asocio de la leguminosa *Centrosema macrocarpum*. Las plántulas se extrajeron del germinador aleatoriamente y de la misma forma se distribuyeron en las macetas. Los forrajes se sembraron en macetas con un diámetro de 26 cm en la superficie, 22.5 cm en la base, y una altura de 21.2 cm, con una capacidad volumétrica de 0.0098 m³ por maceta. Las macetas fueron distribuidas al azar. Las macetas se regaron periódicamente para favorecer el crecimiento de los forrajes y mantener el suelo a capacidad de campo.

Las densidades de siembra utilizadas fueron 4.5 kg/ha y 3.5 kg/ha para *P. maximum* y *B. humidicola*, respectivamente (Skerman y Riveros, 1992) Para el caso de *C. macrocarpum* se utilizaron 2 kg/ha según lo recomendado para el establecimiento en pasturas de gramíneas con leguminosas (Lascano *et al*, 1997). En cada maceta se sembraron ocho plantas; en el caso del asocio se sembraron dos plantas de leguminosa y seis plantas de gramínea.

2.2.2.5. Suelo. Se utilizó un suelo ácido clasificado como Ultisol cuyas características se presentan en el Cuadro 2.2. La procedencia del suelo fue la finca del CIAT ubicada en San Isidro del General, Costa Rica. El suelo colectado se tomó de los primeros 30 cm del perfil en un sitio que un mes antes fue quemado. Las muestras de suelo a analizar se mantuvieron en refrigeración durante el traslado.

Cuadro 2.2. Características químicas del suelo procedente de San Isidro, Costa Rica.

pH	ACD. EXT.	Al ————	Ca cmol(Mg)l—	K ————	P Mg/l	Mn mg/l	N %	MO %	N-NH4 mg/l
5.2	0.95	0.58	0.64	0.08	0.05	2.84	1.32	0.32	8.60	3.42

*Promedio de las muestras colectadas de 0 a 30 cm de profundidad.

2.2.2.6. Mulch. Se aplicaron dos niveles de mulch de dos tipos de leguminosas arbóreas: *Acacia mangium* o *Erythrina poeppigiana* (según el tratamiento) provenientes de la finca del CATIE en Turrialba, Costa Rica. Se colectó follaje de los árboles de distintos estratos, luego se separaron las hojas y se picaron para homogeneizar el material y aplicarlo como mulch. Las características químicas del mulch se presentan en el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. Características químicas de los mulches de *Acacia mangium* y *Erythrina poeppigiana*.*

Mulch	Ca	Mg	K %	P	N	Al	Cu mg/l	Zn	Mn
<i>Acacia</i>	0.88	0.12	0.84	0.09	2.10	269.02	11.16	19.86	258.40
<i>Erythrina</i>	1.39	0.42	2.08	0.30	4.21	375.38	7.59	22.09	100.76

*Promedio de las muestras analizadas

2.2.2.7. Determinación de los niveles de mulch. Los niveles de cada tipo mulch (follaje de *A. mangium* o *E. poeppigiana*), se determinaron de acuerdo con la respuesta a la aplicación de N de las gramíneas a evaluar. Los niveles de mulch aplicados fueron: nivel 0 mulch (control), nivel *Acacia* 1 (150kg/ha), nivel *Acacia* 2 (300 kg/ha), nivel *Erythrina* 1 (150kg/ha), nivel *Erythrina* 2 (300 kg/ha). La determinación de la cantidad en gramos de materia verde se estimó siguiendo la metodología utilizada por Quinlan (1984). Esta consiste en aplicar la fórmula:

Cantidad de mulch a aplicar = (peso seco del material a aplicar como mulch kg/ N%) (peso fresco/peso seco) (nivel escogido de N kg/ha).

El tratamiento sin aplicación de mulch se consideró como control. Las cantidades de mulch aplicadas y los datos utilizados en la fórmula se presentan en el Cuadro 4

Cuadro 2.4. Cantidades aplicadas de mulch por maceta (g) y datos utilizados para la determinación.

Tipo de mulch	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	%N	Cantidad aplicada de mulch (g)*	
				1) 150 kg/ha	2) 300kg N/ha
<i>Acacia</i>	242.3	108.7	2.10	86.33	172.66
<i>Erythrina</i>	386.8	97.3	4.21	137.81	275.62

*Material aplicado en verde y picado para facilitar su aplicación en las macetas.

2.2.3. Variables experimentales.

2.2.3.1 Crecimiento. Para cuantificar la variable crecimiento, semanalmente se midió la altura de las plantas (cm) con una cinta métrica desde el nivel del suelo hasta el ápice de las hojas. Las mediciones se hicieron en todos los tratamientos y para cada planta individual (gramínea o leguminosa) en todas las repeticiones. Las alturas medidas se promediaron por especie para obtener los valores por semana.

2.2.3.2. Producción de biomasa. Diez semanas después del establecimiento se realizó el primer corte de forraje y 5 semanas después de éste el segundo. Cada corte de forraje se realizó a 10 cm

del nivel del suelo para no dañar los puntos de crecimiento de las plantas. Se cuantificó la producción de biomasa con base en Materia Seca (MS), para lo cual la biomasa cortada se pesó y se secó en horno a 60 °C durante 24 h. Después del secado se pesó nuevamente y se calculó el porcentaje de MS con la fórmula:

$$\%MS = [(peso fresco - peso seco) / peso fresco] \times 100$$

2.3. RESULTADOS Y DISCUSION

2.3.1. Crecimiento.

En la estimación del crecimiento de los forrajes, basada en la medición de altura de las plantas, los resultados del análisis de varianza mostraron diferencia significativa para las interacciones gramínea-medición ($P < 0.0001$), asocio-medición ($P < 0.0001$), y mulch-medición ($P < 0.0001$).

La Figura 2.1 muestra la tendencia de crecimiento de las plantas hasta los 70 días en la interacción gramínea-medición, inicialmente *B. humidicola* no difirió de *P. maximum*, pero en general la mayor altura fue mostrada por *B. humidicola*. El crecimiento de *P. maximum* en este estudio fue lento, probablemente debido a bajo nivel de P. *P. maximum* es una especie más exigente de suelo fértil (Vallejos 1988). Por otro lado, *B. humidicola* es una especie bien adaptada a suelos ácidos con bajos niveles de P (Lascano, 1997; Bolívar 1998; Velasco, 1998). El crecimiento de las gramíneas fue superior cuando estuvieron asociadas a la leguminosa (Fig. 2.2).

Dado que la interacción gramínea-asocio no difirió significativamente, es posible concluir que no se presentaron problemas de compatibilidad de especies o interferencia en el crecimiento entre gramíneas y leguminosas. En algunos estudios donde se ha probado la asociación entre gramíneas y leguminosas (Lascano *et al.*, 1997), se ha encontrado que las especies de *Centrosema* son, al parecer, más compatibles con las gramíneas macolladas que con las gramíneas estoloníferas, además, en otros casos se reportó que la asociación de *B. humidicola* y *C. macrocarpum* ha sido superada por la combinación de la gramínea, pero con otras especies leguminosas como *Stylosanthes* o *Arachis* (Martínez, 1992; Ibrahim, 1994). A pesar de estas observaciones, los resultados encontrados en el presente estudio muestran que la asociación de *B. humidicola* con *C. macrocarpum* tuvo un mejor desempeño.

El efecto de los niveles de mulch a través del tiempo se muestra en la Figura. 2.3. La interacción gramínea-mulch fue significativa para la altura de las gramíneas. La mayor altura se presentó con los niveles 2 de mulch (Figs. 2.3 a y 2.3b), sin embargo el mulch de *Erythrina* resultó en mayor crecimiento (Fig. 2.3 b). Las gramíneas en el control presentaron la menor altura en comparación

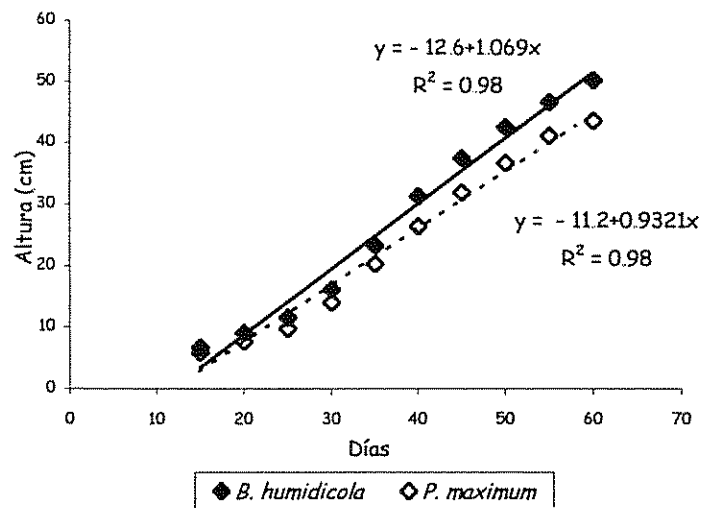


Figura 2.1. Crecimiento de *B. hu midicola* y *P. maximum* en el periodo de mediciones

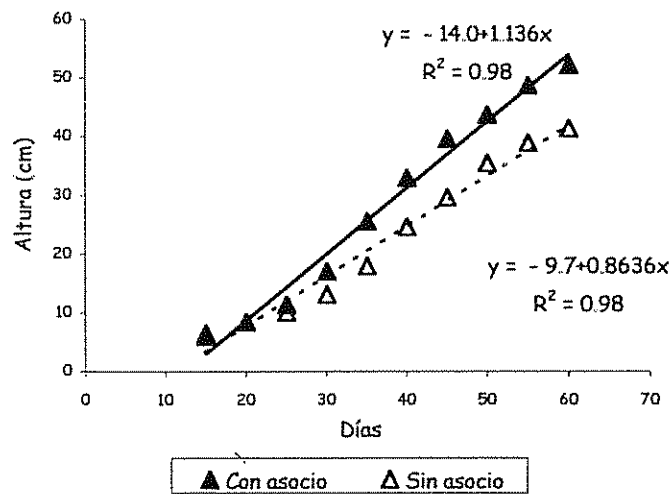


Figura 2.2. Crecimiento de las gramíneas asociadas y sin asocio

con cualquiera de los niveles antes mencionados. Al observar el efecto de la aplicación de los mulches por separado para *B. humidicola* (Fig 2.3c) y *P. maximum* (Fig 2.3d), se encontró escasa respuesta para ambas gramíneas con los niveles a1 y a2, pero lo contrario sucedió en el caso de los niveles e1 y e2

Los resultados observados en el presente estudio, fueron similares a los encontrados por Libreros (1990) al evaluar el efecto de depositar follaje de *E. poeppigiana* sobre la producción y calidad de biomasa de "king grass" (*P. purpureum* X *P. typhoides*) establecidos en asocio. Encontró que el pasto incrementó significativamente la producción y calidad de forraje por efecto del depósito de hojas de *E. poeppigiana*, en comparación a cuando se cultivó solo. Estos resultados evidencian el potencial del asocio de pasturas con especies leguminosas como *E. poeppigiana*, y respaldan los hallazgos del presente estudio.

Existe poca investigación sobre el estudio de la hojarasca de *A. mangium* utilizada como mulch en praderas. En este estudio, la respuesta de crecimiento de los forrajes al aplicar los niveles de mulch de *A. mangium* no fue superior a *E. poeppigiana* pero sí al control. Aunque no se observó una descomposición tan evidente como en el caso de *E. poeppigiana*, a pesar de su alto contenido de nutrientes (González, 1997), la concentración de compuestos secundarios en las hojas de *A. mangium*, es muy probablemente la causa de la lenta descomposición.

Carvalho (1997), al observar el comportamiento de *A. mangium* y *A. auriculiformis* en una pastura de *B. decumbens* durante cuatro años, señaló que la asociación de gramíneas y leguminosas arbóreas fijadoras de N pueden contribuir al desarrollo sostenible de pasturas de gramíneas. Si bien el desempeño de *A. mangium* en la descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes a corto plazo no parece ser muy exitoso, es conveniente señalar otros atributos encontrados en esta especie que son consecuencia de la vasta producción de follaje, como el control de la erosión y el mantenimiento de la humedad del suelo (Halenda, 1988). En el presente estudio, la influencia del mulch de *Acacia* sobre el mantenimiento de la humedad del suelo, muy posiblemente favoreció el crecimiento de los forrajes.

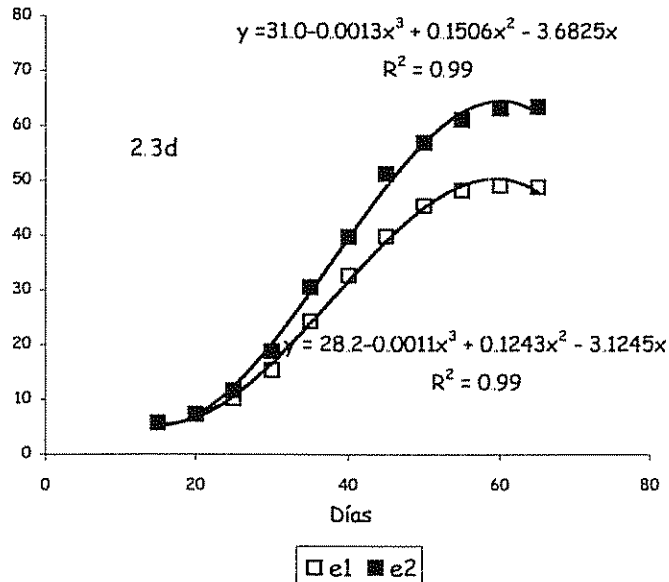
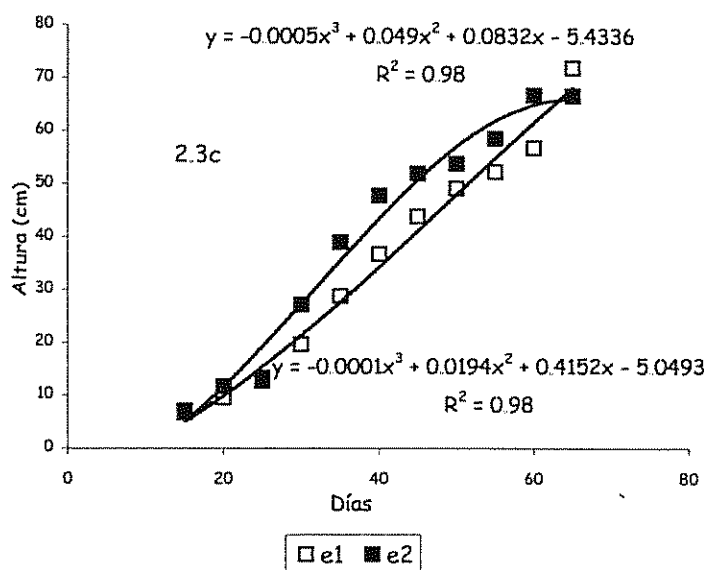
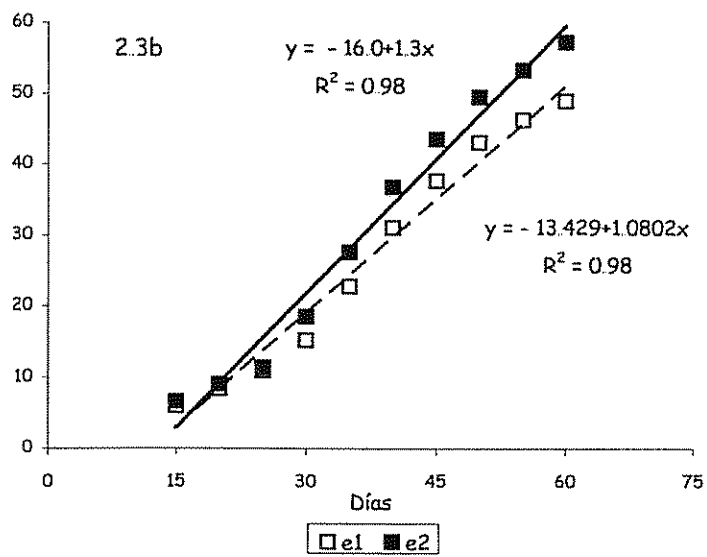
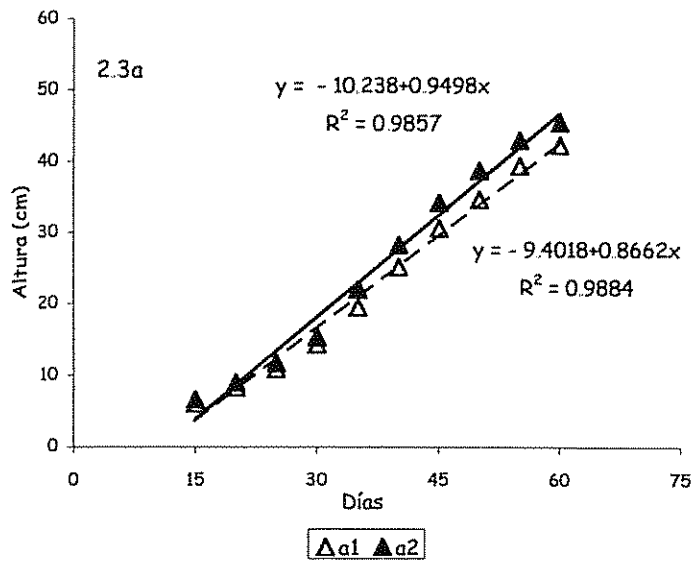


Figura 2.3 Tendencia de crecimiento de los forrajes estudiados, con los niveles de mulch de *A. mangium* (2.3 a) y *E. poeppigiana* (2.3 b) aplicados en el periodo de medición, para *B. humidicola* (2.3 c) y *P. maximum* (2.3 d)

Además de la producción de hojarasca, otros autores han encontrado en *A. mangium* un buen desempeño en lo referente contenido nutricional cuando la compararon con otras especies leguminosas. Los rendimientos de hojas fueron mayores a los de las demás especies en un periodo de 4 años, aunque disminuyeron con el tiempo. Además, se encontró un adecuado contenido nutricional para la producción animal, siendo esta especie la única con adecuados niveles de sodio (Blair *et al.*, 1988).

Estos resultados podrían explicar que el periodo de evaluación utilizado en este estudio no fue suficiente para observar la contribución de *A. mangium* al forraje en el largo plazo.

2.3.2. Producción de Biomasa.

Se realizó análisis de varianza para la producción de biomasa y para los componentes (pasto y leguminosa). Se encontraron diferencias significativas en la interacción gramínea-asocio-mulch ($p < 0.0001$) para la biomasa de las gramíneas, pero no para la biomasa total. Las interacciones gramínea-asocio, gramínea-mulch y asocio-mulch difirieron significativamente para gramíneas y biomasa total ($p < 0.0001$).

La producción de biomasa encontrada en la interacción triple gramínea-asocio-mulch, se muestra en la Figura 2.4 para *B. humidicola* y para *P. maximum* en la Figura 2.5. La producción de *B. humidicola* (Fig. 2.4), no difirió entre los niveles de asocio cuando se aplicó el nivel a1 de mulch y tampoco entre los niveles a2 y e1, cuando se sembró sin asocio. La mayor producción de biomasa de *B. humidicola* se obtuvo con la aplicación del nivel e2 de mulch para ambos niveles de asocio y los menores se obtuvieron con el nivel No

La producción de biomasa de *P. maximum* en la interacción gramínea-asocio-mulch (Fig. 2.5) no difirió para la aplicación de mulch en el nivel a1 en los dos niveles de asocio, ni de éstos con el nivel No sin asocio. En los niveles de mulch a2 y e1 tampoco se observaron diferencias significativas debido al asocio ni entre los controles para ambos niveles de asocio. Al igual que en el caso de *B. humidicola*, el nivel de mulch e2 difirió significativamente de los otros niveles.

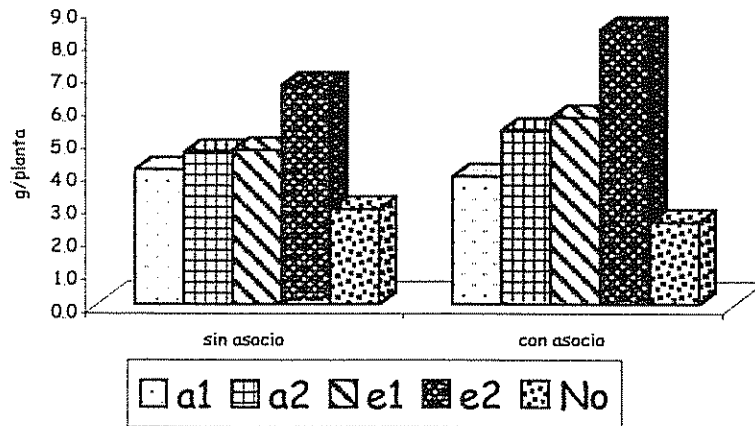


Figura 2.4 Producción de biomasa de *B. humidicola* en la interacción gramínea-asocio-mulch

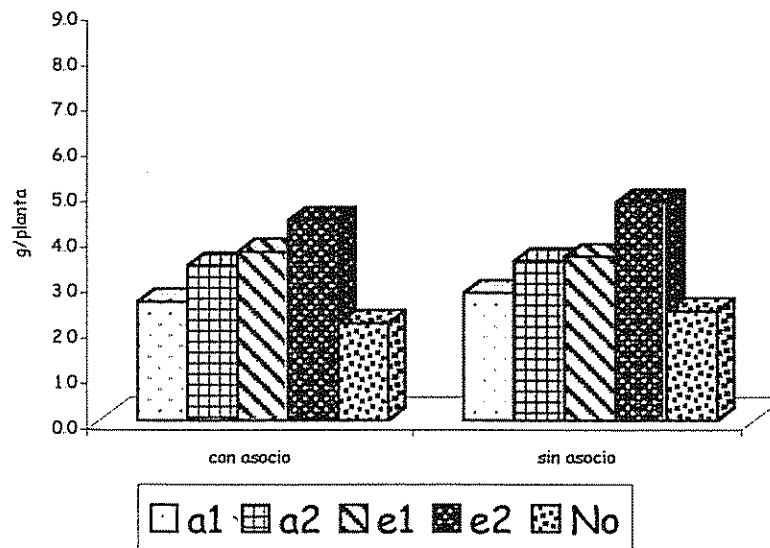


Figura 2.5 Producción de biomasa de *P. maximum* en la interacción gramínea-asocio-mulch

Los resultados encontrados en la interacción gramínea-asocio-mulch muestran claramente el efecto de la aplicación del mulch de *E. poeppigiana* nivel 2 sobre la producción de biomasa, pero es importante notar que aún cuando los otros niveles de mulch no difirieron significativamente entre ellos, sí lo fueron comparándolos con el control, indicando que el aporte de mulch al suelo favoreció el crecimiento de los forrajes en comparación con aquellos que no recibieron mulch, excepto en el caso de *P. maximum* con los niveles No y a1.

Los resultados observados concuerdan con los encontrados por otros autores (Pezo, 1995; CATIE, 1991; Toledo y Torres, 1997), quienes reportaron que la producción de forrajes como *B. humidicola* y *P. maximum* se incrementó al asociarlos con *E. poeppigiana* con relación a sembrados solos. Bustamante (1991), reportó que la producción de biomasa de *B. humidicola* aumentó en 30% cuando se asoció con árboles de *E. poeppigiana* en relación a cuando se sembró sola. Así mismo la producción de *P. maximum* mostró incrementos entre 19% y 32.3% al estar asociada *E. poeppigiana*.

La producción de biomasa para las especies estudiadas en la interacción gramínea-asocio se presenta en el Cuadro 2.5. Para la producción de gramíneas, *B. humidicola* superó significativamente a *P. maximum*, el cual, no mostró diferencia entre los niveles de asocio, por el contrario, *P. maximum* tuvo una producción mayor de biomasa total que *B. humidicola* cuando se sembró asociado, pero no sucedió lo mismo cuando creció solo

Cuadro 2.5. Producción de Biomasa de *B. humidicola* y *P. maximum* (g/maceta) en la interacción gramínea-asocio.

Especie	Gramíneas (p<0 0001)		Biomasa Total (p<0 0013)	
	Con asocio	Sin asocio	Con asocio	Sin asocio
<i>B. humidicola</i>	7.1b	4.6c	5.1c	4.6d
<i>P. maximum</i>	3.2 a	3.4 a	6.4 a	3.4b

Letras iguales entre niveles de asocio no mostraron diferencia significativa con la prueba Lsmeans (p<0.05)

En la Figura 2.6 se muestra la producción de biomasa de las gramíneas para la interacción gramínea-mulch. La producción observada de *B. humidicola* es significativamente mayor con el nivel e2 de mulch, comparada con los otros niveles, pero aún éstos superaron la producción

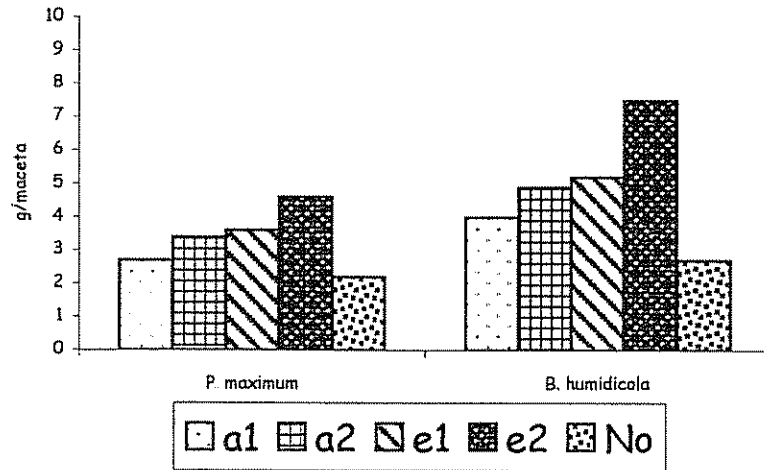


Figura 2.6. Producción de biomasa de *P. maximum* y *B. humidicola* en la interacción gramínea-mulch

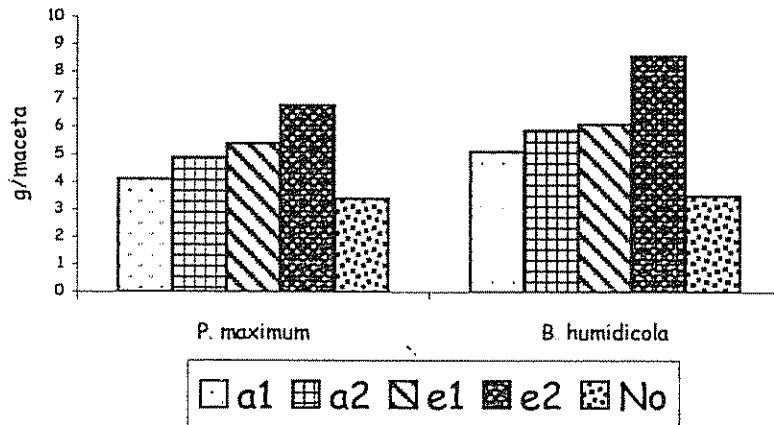


Figura 2.7 Producción de biomasa total de *P. maximum* y *B. humidicola* en la interacción gramínea-mulch

encontrada para el tratamiento de control. En la misma forma el nivel e2 de mulch mostró mayor producción de *P. maximum* en comparación con los otros niveles. Sin embargo, los niveles a2 y e1 no presentaron diferencias significativas entre ellos con esta especie, pero sí comparados con el control. En general, la interacción gramínea-mulch *B. humidicola* con aplicación del nivel e2 de mulch, presentó el mejor comportamiento; el control fue el de menor respuesta.

Para el caso de la biomasa total (Fig. 2.7) en la misma interacción, *B. humidicola* mostró resultados similares al caso de la biomasa de las gramíneas por separado, siendo superior cuando se aplicó el nivel e2, y en general difirió entre todos los niveles de mulch, lo mismo que al compararla con *P. maximum*. Sin embargo, en la comparación entre mulches, los niveles a2 y e1 no mostraron diferencia significativa entre ellos pero sí difirieron todos los niveles con el control.

Los resultados de producción de biomasa total de *P. maximum* en la interacción gramínea-mulch (Fig. 2.7), difirieron entre sí para los niveles de mulch y éstos con el control, pero cabe resaltar el efecto de la aplicación del nivel e2 como el de mayor producción entre los demás niveles. De la misma forma que en la producción de gramíneas, el tratamiento de control fue inferior comparado con cualquiera de los niveles aplicados de mulch, aún cuando los niveles a2 y e1 no mostraron diferencias en la producción de *B. humidicola*.

El incremento en la producción de forrajes al asociarlos con leguminosas observado por algunos autores (Pezo, 1995; CATIE, 1991; Toledo y Torres, 1997; Libreros, 1990) apoya los hallazgos del presente estudio, sin embargo, en estos casos no se evaluó la intervención de otra especie leguminosa herbácea asociada como en el caso de este estudio. Al respecto se observó que el nivel e2 de mulch sobresalió en la interacción asocio-mulch (Fig. 2.8), al igual que en las demás interacciones (Fig. 2.8 a). La producción de gramíneas sin asocio no difirió con los niveles a2 y e1, pero sí éstos con a1 y e2 y todos ellos con el control. Los tratamientos asociados difirieron significativamente entre niveles, sobresaliendo el nivel e2 y siendo todos mayores que el control.

La producción de biomasa total en la interacción asocio-mulch (Fig. 2.8b), coincide con el comportamiento de la producción de gramíneas. En los tratamientos sin asocio el nivel e2 fue superior a los otros niveles, pero otra vez, entre a2 y e1 no hubo diferencias, sin embargo, todos

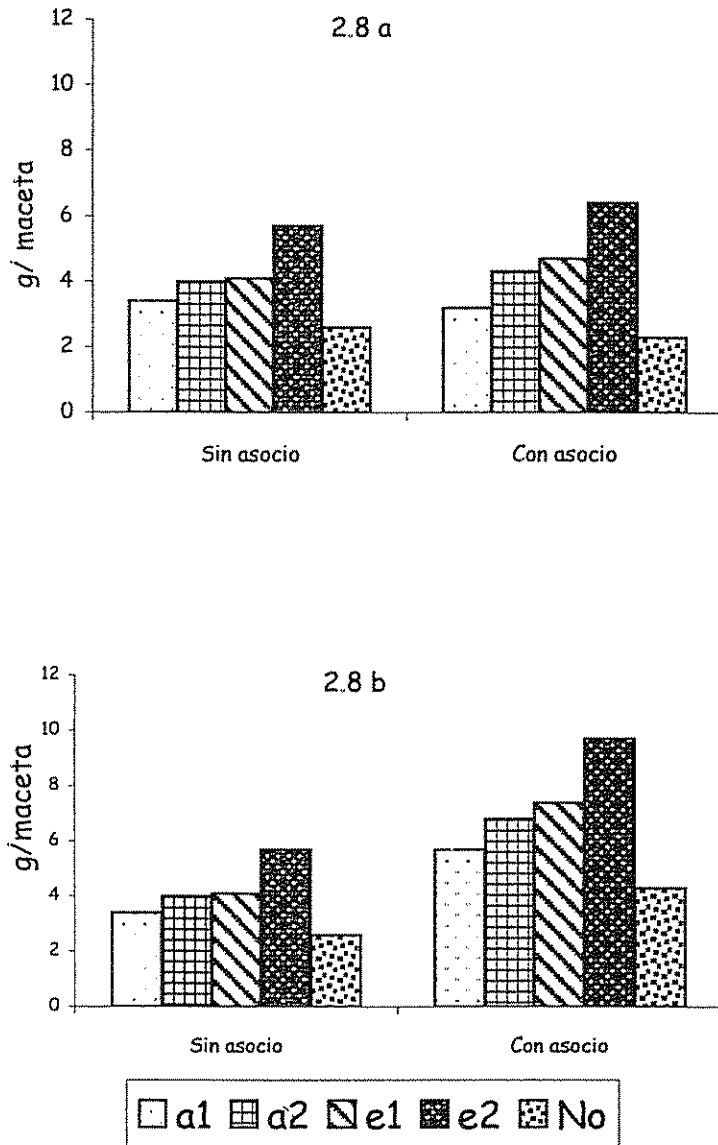


Figura 2.8. Producción de biomasa para gramineas (2.8 a) y para biomasa total (2.8 b), en la interacción asocio-mulch

los niveles difirieron del control. El asocio de forrajes mostró mayor producción que los no asociados, difiriendo entre todos los niveles de mulch y éstos con el control.

Con base en estos resultados es posible considerar la combinación de alternativas tales como el asocio de forrajes de leguminosas herbáceas y leñosas proveedoras de mulch que incrementan el rendimiento en la producción de forraje. Como se pudo observar, los tratamientos de control fueron los de menor producción. Estos resultados muestran claramente las ventajas de la presencia de enmiendas al suelo respecto al crecimiento y producción de biomasa.

2.4. CONCLUSIONES

El aporte de hojas de *E. poeppigiana* y el asocio de gramíneas con leguminosas mostró los mejores resultados al evaluar el crecimiento y la producción de forraje de *P. maximum* y *B. humidicola*, La respuesta de *A. mangium* al aplicarlo como mulch no fue mejor que *E. poeppigiana*, pero sí lo fue comparada con la ausencia de una enmienda y el asocio con la especie leguminosa, lo cual prueba que el crecimiento de forrajes es mejor con la aplicación de mulches y asociado a leguminosas.

Los resultados encontrados en este estudio permiten inferir que la integración de las diferentes estrategias para mejorar la producción de pasturas es una opción técnicamente viable, sin embargo, es importante considerar la selección de especies y su capacidad de desempeño cuando se establecen en asociación.

El periodo de estudio en el presente trabajo, no permitió hacer una estimación más precisa de la permanencia y desempeño de las asociaciones con las especies utilizadas. Sería conveniente estudiar la producción en un periodo de tiempo más largo y con diferentes frecuencias de corte.

Se recomienda la validación de este estudio a nivel de campo, con la introducción de pastoreo y la evaluación con otras especies de gramíneas y leguminosas, considerando aspectos económicos referentes al establecimiento y manejo de las especies leguminosas, y considerando también la influencia de la presencia del ganado y la respuesta animal.

2.5. REFERENCIAS

- Blair, G.J.; Panjaitan, M.; Ivory, D.A.; Palmer, B.; Sudjadi, M. 1988. An evaluation of tree legumes on an acid ultisol in South Sumatra, Indonesia. *Journal of Agriculture Science* 111:3 pp 435-441.
- Bustamante, J. 1991. Evaluación del comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 131 p.
- Carvalho, M.M. 1997. Asociaciones de pasturas con árboles en la región centro sur de Brasil. *Agroforestería en las Américas* 4(15) p. 5-8.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1991. Sistemas silvopastoriles para el Trópico Húmedo Bajo. *In* II Informe Anual. Fase II. Proyecto CATIE/MAG/CIID. Turrialba, Costa Rica, CATIE: p. 78-84.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1995. Resumen de datos meteorológicos del año 93, 94 y acumulados. Turrialba Costa Rica, CATIE. 3 p.
- Giraldo, L.A.; Hincapié A.C.; Vásquez, M.E.; Zapata, C.M. 1989. Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Amalfi, Colombia. *Pasturas Tropicales*. 11(2): 20-24.
- González, de L.F. 1997. Efecto de la *Acacia mangium* Will como barbecho mejorado, sobre la disponibilidad de fósforo en cultivos posteriores en un Ultisol ácido. Tesis Mag. Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica. 96 p.
- Halenda, C. 1988. Performance of *Acacia mangium* Willd. and *L. leucocephala* (Lam.) de Wit at Niah forest reserve, Sarawak. *Nitrogen Fixing Tree Research Report* (EE.UU.). 6:15-17.
- Halenda, C. 1989. Nutrient content of *Acacia mangium* plantation. *Nitrogen Fixing Tree Research Report* (EE UU) 46 (5): 970-976
- Hernández, I.; Matías, C.; Hernández, R.; Ruz F.; Rolo R. 1993. Comportamiento de asociaciones de gramíneas y leguminosas en el suroeste de Matanzas. *Pastos y Forrajes* 16(3): 243-249
- Hernández, T.; Valles, B.; Castillo, E. 1990. Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Pasturas Tropicales* (Colombia) 12: 29-33
- Holdrige, L. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. 216 p.
- Ibrahim, M.A. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grass legume mixtures for sustainable animal production in the Atlantic Zone of Costa Rica. Tesis Ph D. Wageningen Agricultural University. 129 p.
- Lascano, C.E.; Teitzel, J.K. y Kong Pei Eng. 1997. Valor nutritivo de *Centrosema* y Producción Animal. *In* Shultze-Kraft, R.; Clements, R.J.; Keller-Grein, G. (eds). 1997. *Centrosema: Biología,*

- agronomía y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Publicación CIAT No. 208. Cali, Colombia. 765 p.
- Libreros, J.H. 1990. Efecto de depositar en el suelo material de poda de poró (*Erythrina poeppigiana*) sobre la producción y calidad de la biomasa del king grass (*P. purpureum* + *P. typhoides*) establecido en asocio. Tesis Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 116 p.
- Pezo, D.A.; Kass, M.L.; Romero, F., Benavides, J. 1995. Producción y uso de Forraje. In Powell M.H.; Westley, S.B. 1995. Producción y uso de Erythrina: Manual de campo. Nitrogen Fixing Tree Association Network. Winrock International. CATIE. p. 25-29
- Quinlan, M. M. 1984. Mulches from two tropical tree species *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook and *Gmelina arborea* Rox. as nitrogen sources in the production of Maíz (*Zea mays* L.). Tesis Mag. Sc. Universidad de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Programa U.C.R./CATIE. 96 p.
- Rodriguez, F.R.A. 1985. Producción de biomasa de poró gigante (*Erythrina poeppigiana* Wlpers) O.F. Cook y King grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*) intercalados, en función de la densidad de siembra y la frecuencia de poda del poró.
- Skerman, P.J.; Riveros, F. 1992. Gramíneas Tropicales. Colección FAO: Producción y Protección vegetal, no. 23. FAO, Italia. 849 p.
- Toledo, J. M.; Torres, F. 1997. Potential of Silvopastoral Systems in the Rain Forest. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Tsai, L.M. 1992. Growth and Yield. In: Awang, K.; Taylor, D. (eds). 1993. *Acacia mangium* Growing and Utilization. Proceedings. MPTS Monograph Series No. 3. Bangkok, Thailand: Winrock International. FAO. p 149-161
- Veiga, J.B.; Serrao, E.A. 1987. Recuperación de pasturas en la región este de la Amazonia brasileña. Pasturas Tropicales 9 (3): 40-43
- Villareal, M.; Chávez, O. 1991. Adaptación y producción de gramíneas y leguminosas forrajeras en San Carlos, Costa Rica. Pasturas Tropicales 13(2): 31-38.
- Velasco, T.J.A.:1998. Productividad forrajera, aporte de fósforo foliar y dinámica de hongos micorrízicos y lombrices en una pradera de *Brachiaria humidicola* sola y con *Acacia mangium* en el Trópico Húmedo. Tesis Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

III. CAPITULO 3

3. "Efecto del mulch de *Acacia mangium* y *Erythrina poeppigiana* sobre el contenido y la eficiencia de absorción de nutrientes de *Panicum maximum* y *Brachiaria humidicola* con y sin asocio de *Centrosema macrocarpum*"

3.1. INTRODUCCION

En las pasturas tropicales los nutrientes retornan al suelo vía excretas animales o bien como residuos (hojarasca y raíces) de plantas. La liberación y reciclaje de nutrientes de estos residuos es una función del clima y la composición del material orgánico. El retorno de nutrientes vegetales al suelo y el subsecuente reciclaje vía consumo de plantas puede ser manipulado mediante la selección de especies (Fassbender, 1993; Thomas y Asakawa, 1993).

Algunas especies de leguminosas leñosas se consideran apropiadas para ser introducidas en pasturas, por los beneficios que se obtienen para el crecimiento y producción de forrajes y de igual manera, por su contribución a la dinámica de los nutrientes en el suelo. En general, los árboles desarrollan un sistema radicular más profundo y son capaces de extraer nutrientes y reciclarlos en la superficie del suelo a través de la hojarasca, raíces etc.

El estudio sobre descomposición de la hojarasca de los árboles introducidos en pasturas o en su caso de la biomasa aplicada al suelo después de las podas (mulch), gana cada vez mayor importancia por ser una alternativa viable para el ciclaje de nutrientes en el suelo (Toledo, 1997).

Los árboles fijadores de N son componentes importantes en los sistemas agroforestales. En los últimos años se dio poca importancia a la fijación biológica del N en esos sistemas y a la remoción de nutrientes por árboles fijadores de N en pasturas y otros cultivos, sustituyéndolos con la utilización de fertilizantes minerales (Kass *et al.*, 1997).

Especies como *Erythrina poeppigiana* han mostrado tener rápida descomposición del follaje obtenido de las podas y aunque la sincronización de la liberación de nutrientes con la necesidad

de los cultivos asociados no es fácil de obtener, frecuentemente se observan los beneficios a largo plazo sobre el total de materia orgánica del suelo y la subsecuente reducción de la erosión del suelo (Libreros, 1990; Fassbender, 1993; Kass *et al.*, 1997).

Se ha encontrado respuesta favorable a la prevención de la erosión y mejoramiento de la fertilidad del suelo con otras especies leguminosas arbóreas como *Acacia mangium* cuando se sembró con otros cultivos y en pasturas (Duguma *et al.*, 1994; Sánchez, 1994), e incluso se ha considerado como una especie con potencial alimenticio pero desafortunadamente dependiente del consumo voluntario por el ganado (Blair, 1988).

Halenda (1988) estudió el desempeño de *A. mangium* y *L. leucocephala* en la recuperación de sitios abandonados donde se realizó agricultura migratoria. Ambas especies tuvieron adecuada producción de hojarasca para controlar la erosión. Además de la producción de hojarasca, otros autores han encontrado en *A. mangium* un buen desempeño en lo referente contenido nutricional, cuando la compararon con otras especies leguminosas. Los rendimientos de hojas fueron mayores a los de las demás especies en un periodo de 4 años aunque disminuyeron con el tiempo. Además se encontró un adecuado contenido nutricional para la producción animal siendo esta especie la única con adecuados niveles de sodio (Blair *et al.* 1988).

Por otra parte, se ha reportado que algunos factores que determinan la productividad y permanencia de las pasturas en los trópicos son la presencia y disponibilidad de nutrientes, así como la capacidad de los forrajes para tomarlos del suelo y la adaptación de las especies forrajeras a los suelos ácidos. Algunas forrajeras como *B. humidicola* y *P. maximum*, entre otras, han mostrado una buena adaptación y persistencia bajo condiciones de suelos ácidos tropicales (Martínez y Haag, 1980; Villareal y Chávez, 1991).

El consumo y utilización de los nutrientes en la producción de granos requiere de que aquellos procesos asociados con la absorción, translocación asimilación y redistribución de N operen eficientemente. La contribución relativa de esos procesos a las diferencias genóticas en el uso eficiente de nutrientes son desconocidas y pueden variar entre poblaciones genéticas y con el ambiente, incluyendo la aplicación de elementos nutritivos (Moll *et al.*, 1982).

La combinación de estrategias para promover la eficiencia en la utilización de nutrientes se estudió en el presente ensayo, cuyo objetivo fue evaluar la concentración de nutrientes del follaje y raíces y la eficiencia de absorción y de *P. maximum* CIAT 16061 y *B. humidicola*, solas y asociadas con *C. macrocarpum* CIAT 5713, con y sin aplicación de mulch de *A. mangium* o *E. poeppigiana*.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.2.1. Localización del estudio.

El estudio se realizó en el invernadero del Area de suelos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. El sitio esta ubicado a 9° 53' de Latitud Norte y 83° 38' de Longitud Oeste, a una altitud de 602 msnm. La temperatura media anual es de 21.7 °C con un rango entre 26.9 °C y 17.8 °C de temperaturas máxima y mínima promedio anual, respectivamente. La precipitación promedio anual de 2636 mm. La humedad relativa es de 87.8% (CATIE, 1995). Según la clasificación de Holdrige (1987), el CATIE se encuentra en la zona de vida denominada "Bosque Muy Húmedo Premontano". En el invernadero, el promedio de las temperaturas medidas durante los meses de estudio (mayo a septiembre) osciló entre 32 °C de temperatura máxima y 20.3 °C como mínima.

3.2.2. Metodología experimental.

3.2.2.1. Tratamientos. Los tratamientos evaluados fueron los mismos que se describieron en el capítulo dos de este documento. Con la intención de tenerlos presentes el esquema de los tratamientos se presenta en el Cuadro 3.1.

3.2.2.2. Diseño estadístico.

Para el análisis de la información se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo de tratamientos factorial $2^2 \times 5$ y parcelas divididas en el tiempo con tres repeticiones. Los factores analizados fueron gramíneas, asocio, mulch, medición (tiempo en semanas) y sus combinaciones. Se realizó análisis de varianza con el que se encontraron las interacciones con diferencias significativas de los tratamientos

Cuadro 3.1. Tratamientos utilizados en el ensayo.

Identificación Tratamiento	Gramínea	Leguminosa <i>C. macrocarpum</i>	Niveles de Mulch
PCNo PCE1 PCE2 PCA1 PCA2	<i>P. maximum</i>	con asocio	0 (No) <i>E. poeppigiana</i> n1 (e1) <i>E. poeppigiana</i> n2 (e2) <i>A. mangium</i> n1 (a1) <i>A. mangium</i> n2 (a2)
PNo PE1 PE2 PA1 PA2		sin asocio	0 (No) <i>E. poeppigiana</i> n1 (e1) <i>E. poeppigiana</i> n2 (e2) <i>A. mangium</i> n1 (a1) <i>A. mangium</i> n2 (a2)
BCNo BCE1 BCE2 BCA1 BCA2	<i>B. humidicola</i>	con asocio	0 (No) <i>E. poeppigiana</i> n1 (e1) <i>E. poeppigiana</i> n2 (e2) <i>A. mangium</i> n1 (a1) <i>A. mangium</i> n2 (a2)
No BE1 BE2 BA1 BA2		sin asocio	0 (No) <i>E. poeppigiana</i> n1 (e1) <i>E. poeppigiana</i> n2 (e2) <i>A. mangium</i> n1 (a1) <i>A. mangium</i> n2 (a2)

3.2.2.4. Siembra. El ensayo inició en mayo de 1998. Cada especie de gramínea se sembró en una maceta con o sin asocio de la leguminosa *Centrosema macrocarpum*. Las plántulas se extrajeron del germinador aleatoriamente y de la misma forma se distribuyeron en las macetas. Los forrajes se sembraron en macetas con un diámetro de 26 cm en la superficie, 22.5 cm en la base, y una altura de 21.2 cm, con una capacidad volumétrica de 0.0098 m³ por maceta. Las macetas fueron distribuidas al azar según el tratamiento. Las macetas se regaron periódicamente para favorecer el crecimiento de los forrajes, y mantener el suelo a capacidad de campo.

Las densidades de siembra utilizadas fueron 4.5 kg/ha y 3.5 kg/ha para *P. maximum* y *B. humidicola* respectivamente (Skerman y Riveros, 1992). Para el caso de *C. macrocarpum* se utilizaron 2 kg/ha según lo recomendado para el establecimiento en pasturas de gramíneas con leguminosas (Lascano *et al.*, 1997). En cada caso se sembraron simultáneamente los dos tipos de plantas (dos plantas de leguminosa, y seis plantas de gramínea o solo ocho plantas de gramíneas de la misma especie) según el tratamiento.

3.2.2.5. Suelo. Se utilizó un suelo ácido clasificado como Ultisol cuyas características se presentan en el Cuadro 3.2. La procedencia del suelo fue la finca del CIAT ubicada en San Isidro, Costa Rica. El suelo colectado se tomó de los primeros 30 cm del perfil en un sitio que un mes antes fue quemado. Las muestras de suelo a analizar se mantuvieron en refrigeración durante el traslado.

Cuadro 3.2. Características químicas del suelo procedente de San Isidro, Costa Rica.

pH	ACD. EXT.	Al	Ca	Mg	K	P	Mn	N	MO	N-NH ₄
		————	cmol(+)/l—	————	————	mg/l	mg/l	%	%	mg/l
5.2	0.95	0.58	0.64	0.08	0.05	2.84	1.32	0.32	8.60	3.42

*Promedio de las muestras colectadas de 0 a 30 cm de profundidad.

3.2.2.6. Mulch. Se aplicaron dos niveles de mulch de dos tipos de leguminosas arbóreas: *Acacia mangium* o *Erythrina poeppigiana* (según el tratamiento) provenientes de la finca del CATIE en Turrialba, Costa Rica. Se colectó follaje de los árboles de distintos estratos, luego se separaron las hojas y se picaron para homogeneizar el material y aplicarlo como mulch. Se realizó análisis químico para conocer las características del mulch aplicado, las cuales se presentan en el Cuadro 3.3

Cuadro 3.3. Características químicas de los mulches de *Acacia mangium* y *Erythrina poeppigiana**.

Mulch	Ca	Mg	K	P	N	Al	Cu	Zn	Mn
	————	————	%	————	————	————	mg/l	————	————
<i>Acacia</i>	0.88	0.12	0.84	0.09	2.10	269.02	11.16	19.86	258.40
<i>Erythrina</i>	1.39	0.42	2.08	0.30	4.21	375.38	7.59	22.09	100.76

*Promedio de las muestras analizadas

3.2.2.7. Determinación de los niveles de mulch. Los niveles de cada tipo mulch (follaje de *A. mangium* o *E. poeppigiana*), se determinaron de acuerdo con la respuesta a la aplicación de N de las gramíneas a evaluar. Los niveles de mulch aplicados fueron: nivel 0 mulch (control), *Acacia*

nivel 1(150kg/ha), *Acacia* nivel 2 (300 kg/ha), *Erythrina* nivel 1(150 kg/ha), *Erythrina* nivel 2 (300 kg/ha). La determinación de la cantidad en gramos de materia verde se estimó siguiendo la metodología utilizada por Quinlan (1984). Esta consiste en aplicar la fórmula:

Cantidad de mulch a aplicar = (peso seco del material a aplicar como mulch kg / N%) (peso fresco/peso seco) (nivel escogido de N kg/ha).

El tratamiento sin aplicación de mulch se consideró como control. Las cantidades de mulch aplicadas y los datos utilizados en la fórmula se presentan en el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Cantidades aplicadas de mulch por maceta y datos utilizados para la determinación.

Tipo de mulch	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	N %	Cantidad aplicada de mulch (g)*	
				1) 150 kg/ha	2) 300 kg N/ha
<i>Acacia</i>	242.3	108.7	2.10	86.33	172.66
<i>Erythrina</i>	386.8	97.3	4.21	137.81	275.62

*Material aplicado en verde

3.2.3. Variables experimentales.

3.2.3.1. Concentración de nutrientes. Para conocer la concentración de nutrientes en el follaje y raíces de todos los tratamientos se realizó análisis químico completo (Ca, Mg, K , P, Cu, Zn y Mn) y de N total. Para determinar la concentración de N en el mulch, la biomasa aérea y radicular se utilizó el método Kjeldahl (Bateman, 1970). La concentración de Ca, Mg, K y P se determinó por los siguientes métodos: el Ca y Mg, fueron extraídos con ácido perclórico y determinados con espectrofotómetro de absorción atómica (EAA); el K fue extraído por el método Olsen modificado (MOM) y determinado con EAA y el P fue extraído por MOM y determinado por colorimetría con molibdato de amonio (Díaz Romeu, 1978).

En los tratamientos asociados a la leguminosa el análisis foliar se realizó por separado. Para los casos en que la biomasa no fue suficiente, sólo se realizó el análisis de N total. La biomasa de raíces se analizó al final del ensayo, de la misma manera que la de follaje pero sin separación de leguminosa.

La concentración de cada nutriente en la biomasa aérea de las plantas y en las raíces, se determinó con el producto del porcentaje de nutriente y el peso seco de las plantas o de las raíces en su caso.

3.2.3.2. Eficiencia de absorción (EA). Con base en las estimaciones realizadas por algunos autores (Novoa y Loomis, 1981; Moll *et al.* 1982; Van Sanford y McKown, 1986; Bertsch, 1995) se cuantificó la EA para todos los nutrientes evaluados. Para este ensayo, se restó el promedio de los gramos de nutriente encontrados en los tratamientos de control (gnut control) para cada gramínea, a los gramos de nutriente encontrados en la planta en cada tratamiento (gnut planta), dividido por los gramos de nutriente aplicados por tratamiento mediante el mulch (gnut aplicados), multiplicando este cociente por 100 siendo:

$$EA = ((\text{gnut planta} - \text{gnut control}) / \text{gnut aplicados}) * 100$$

Es importante señalar que: 1) al restar los nutrientes de cada control se asume que se están considerando los nutrientes contenidos en el mulch. 2) la variable gn planta, se determinó sumando el peso seco de los dos cortes de follaje y multiplicándolo por el porcentaje de nutriente del follaje, en este caso se consideró que el contenido de nutrientes en la planta fue el mismo en ambos cortes, dado que en el primero el follaje cortado no fue suficiente para analizarlo. 3) los gnut aplicados se calcularon con los gramos de MS en cada nivel del mulch (aplicado en verde) multiplicado por el porcentaje de nutriente para cada tipo y nivel de mulch.

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Concentración de nutrientes en la planta.

3.3.1.1. Calcio. El análisis estadístico mostró diferencias significativas en la concentración de Ca en las plantas en los efectos simples gramínea, asocio y mulch ($p < 0.0001$). En el Cuadro A1 se muestran los promedios de cada factor para este nutriente. *P. maximum* mostró mayor concentración de Ca en las plantas para el factor gramínea. Los tratamientos asociados mostraron el mayor promedio en la concentración de este nutriente y de los niveles de mulch e2 mostró la mayor concentración seguido por e1, a2 y a1 que no difirieron y el menor No. Se encontraron

diferencias significativas para las interacciones gramínea-asocio ($p < 0.0001$), gramínea-mulch ($p < 0.0001$) y asocio-mulch ($p < 0.0001$). En la interacción gramínea-asocio (Cuadro 3.5) *P. maximum* mostró mayor concentración de Ca en las plantas que *B. humidicola* en ambos niveles de asocio.

Cuadro 3.5. Concentración de Ca (g/planta) en la interacción gramínea-asocio.

<i>Brachiaria humidicola</i>		<i>Panicum maximum</i>	
Con asocio	Sin asocio	Con asocio	Sin asocio
0.0256 (0.0025)	0.0144 (0.00075)	0.0690 (0.0050)	0.040 (0.00313)

Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar

En la interacción gramínea-mulch (Fig. 3.1), la concentración de Ca fue significativamente mayor en las plantas de *P. maximum* que en las de *B. humidicola*, en todos los niveles de mulch evaluados, encontrándose la mayor concentración con la aplicación del nivel e2, seguido de los niveles e1, a2, a1 y No, en ese orden.

Los tratamientos asociados mostraron mayor concentración de Ca en la interacción asocio-mulch (Fig. 3.2), con la aplicación del nivel e2 seguido de los niveles e1, a2, a1 y No en ese orden y de la misma forma para los tratamientos sin asocio. Para todos los niveles de mulch la concentración de Ca en las interacciones siempre fue mayor que el tratamiento de control.

3.3.1.2. Magnesio. La concentración de este nutriente mostró diferencias significativas en los efectos simples gramínea, asocio, mulch (Cuadro A1), siendo *P. maximum* la gramínea con mayor concentración, los tratamientos asociados los del mayor promedio, y el nivel e2 de mulch el que mostró mayor concentración y en orden decreciente e1, a2, a1 y No. Solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la interacción asocio-mulch ($p < 0.0001$), para el caso del Mg (Fig. 3.3). Cuando las gramíneas se asociaron, las plantas mostraron mayor

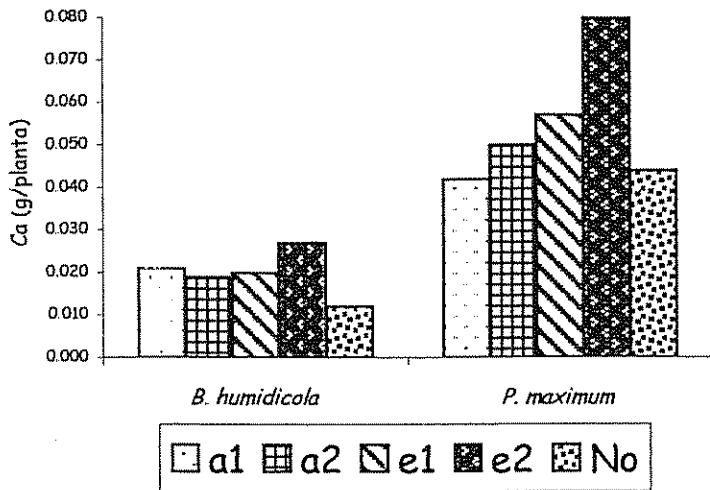


Figura 3.1. Concentración de Ca en el follaje de *B. humidicola* y *P. maximum* en la interacción gramínea-mulch

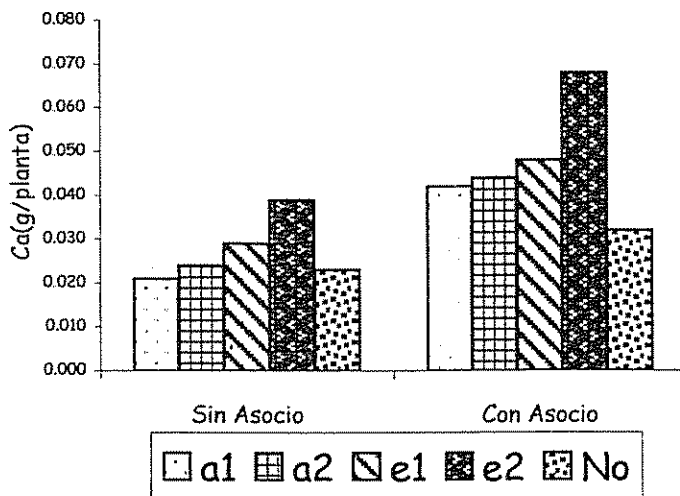


Figura 3.2. Concentración de Ca en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch

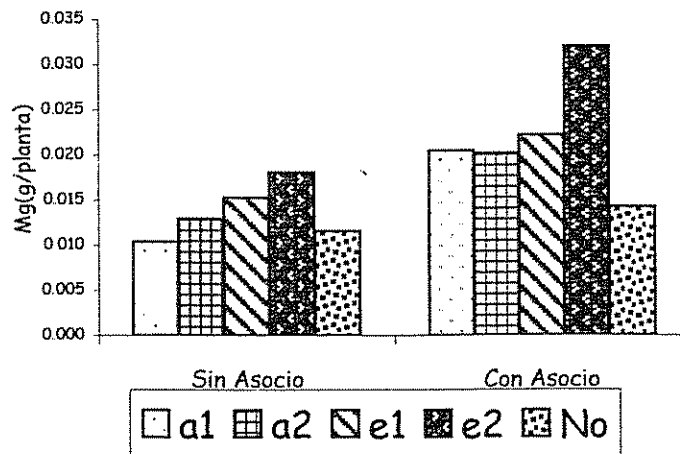


Figura 3.3. Concentración de Mg en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch

concentración de este nutriente. Entre niveles de mulch, la mayor concentración se observó con el nivel e2 seguido por los niveles e1, a2, a1 y No para los dos niveles de asocio

3.3.1.3. Potasio. Se encontraron diferencias significativas para los efectos simples donde se observó a *P. maximum* como la gramínea de mayor concentración de K, a los tratamientos asociados con el mayor promedio de concentración de K en las plantas y en orden decreciente la concentración de K encontrada con los niveles de mulch aplicados fue e2, a2, e1, a1 y No (Cuadro A1). Las interacciones gramínea-asocio ($p < 0.0202$) y asocio-mulch ($p < 0.0001$) fueron significativamente diferentes para el caso del K. En el Cuadro 3.6 se muestra la concentración de K en las plantas en la interacción gramínea asocio. La concentración de este nutriente en las plantas de *P. maximum* fue mayor que en las de *B. humidicola*, y mayor en los tratamientos asociados en comparación con los que no tuvieron asocio

Cuadro 3.6. Concentración de K (g/planta) en la interacción gramínea-asocio.

<i>Brachiaria humidicola</i>		<i>Panicum maximum</i>	
Con asocio	Sin asocio	Con asocio	Sin asocio
0.2384 (0.0287)	0.1391 (0.0133)	0.2785 (0.0237)	0.2151 (0.0142)

Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar

La mayor concentración de K en las plantas para la interacción asocio-mulch (Fig 3.4), se encontró con los tratamientos asociados. En los dos niveles de asocio la mayor concentración se observó con la aplicación del nivel de mulch e2 seguido por a2, e1 y a1, en ese orden.

3.3.1.4. Fósforo. Los resultados encontrados en la concentración de P en las plantas mostraron diferencias significativas en los efectos simples (gramínea, asocio y mulch, Cuadro A1). *B. humidicola* mostró la mayor concentración de P. Los tratamientos asociados tuvieron la mayor concentración de este nutriente en las plantas y de acuerdo a los niveles de mulch se encontró que e2 fue el promedio mayor, seguido por e1 y a2 que no difirieron y por último a1 y No. Se observaron diferencias significativas en las interacciones gramínea-asocio ($p < 0.0001$), gramínea-mulch ($p < 0.0024$) y asocio-mulch ($p < 0.0001$).

El cuadro 3.7 muestra los promedios (g/planta) de la concentración de P encontrado en las gramíneas. Los tratamientos asociados mostraron significativamente mayores cantidades de P en las plantas. *B. humidicola* mostró mayor concentración de P que *P. maximum* en ambos niveles de asocio

Cuadro 3.7. Concentración de P (g/planta) en la interacción gramínea-asocio.

<i>Brachiaria humidicola</i>		<i>Panicum maximum</i>	
Con asocio	Sin asocio	Con asocio	Sin asocio
0.011(0.0009)	0.0057(0.0003)	0.0077(0.0006)	0.0049(0.0003)

Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar

B. humidicola presentó mayores concentraciones de P que *P. maximum* en la interacción gramínea-mulch (Fig. 3.5). La secuencia en orden decreciente que siguió el contenido de P en *B. humidicola* de acuerdo al nivel de mulch fue e2, e1, a2, a1. *P. maximum*, aunque en menor proporción, siguió la misma secuencia. En ambas gramíneas todos los niveles de mulch dieron mayor concentración de P que el control.

Los tratamientos asociados siguieron la misma secuencia de aporte del mulch observada en las gramíneas en la interacción asocio-mulch (Fig. 3.6), y de la misma manera, pero en menor proporción, lo hicieron los tratamientos sin asocio. La menor concentración de P en las plantas se observó en los tratamientos control.

3.3.1.5. Nitrógeno. Los efectos simples difirieron significativamente en la concentración de N en *P. maximum* para el factor gramínea y los tratamientos asociados para el factor asocio. Los niveles de mulch siguieron el orden decreciente e2, e1, a2, a1 y No (Cuadro A1). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la concentración de N en las plantas en las

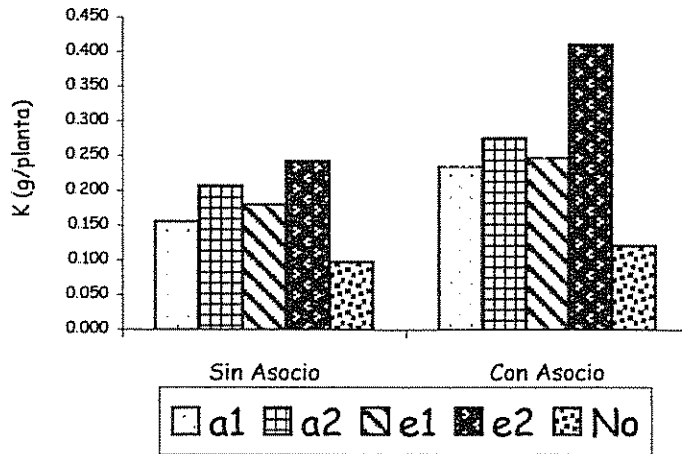


Figura 3.4. Concentración de K en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch

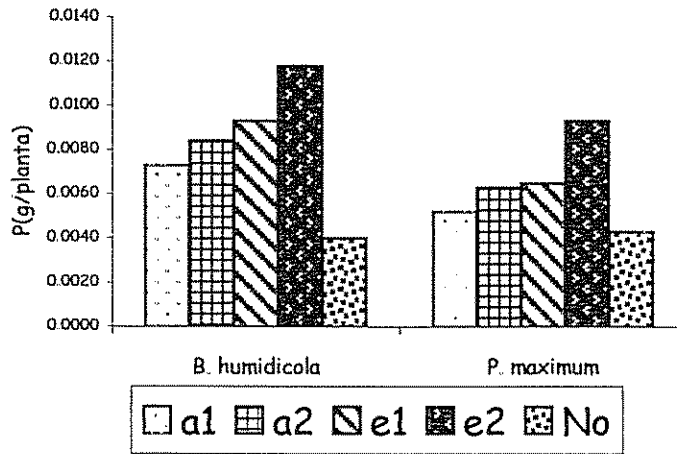


Figura 3.5. Concentración de P en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción gramínea-mulch

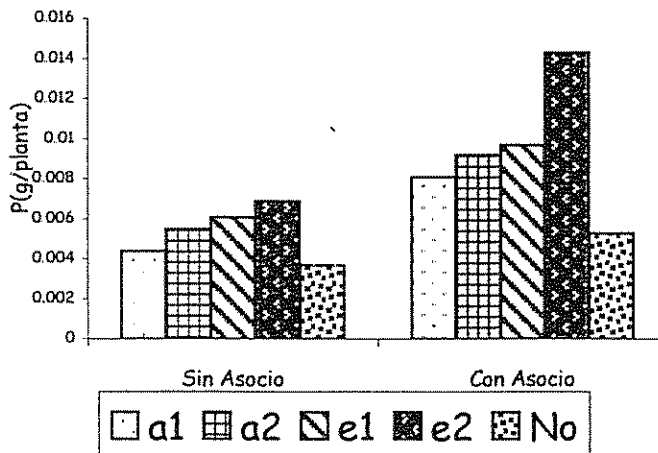


Figura 3.6. Concentración de P en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch

interacciones gramínea-mulch ($p < 0.0081$) y asocio-mulch ($p < 0.0012$). La mayor concentración de N se observó en las plantas de *P. maximum* (Fig 3.7). De acuerdo a los niveles de mulch aplicados la mayor concentración se observó con el nivel e2 seguido por a2, e1, a1. Para *B. humidicola* la mayor concentración se observó con el mulch e2 seguido por e1, y en igual cantidad a2 y a1. Para ambas gramíneas la menor concentración se observó en el tratamiento de control.

Los tratamientos asociados tuvieron la mayor concentración de N con el nivel de mulch e2 en la interacción asocio-mulch (Fig. 3.8), seguido de los niveles a2, e1, a1 y No. La tendencia de los tratamientos sin asocio de acuerdo al nivel de mulch aplicado fue e2, e1, a2, a1 y No en ese orden.

3.3.1.6. Cobre y Zinc. Los efectos simples difirieron significativamente encontrándose a *B. humidicola* y a los tratamientos asociados con las mayores concentraciones de Cu, y en los niveles de mulch la secuencia fue e2, a2, e1, a1 y No en ese orden. La mayor concentración de Zn en los efectos simples se observó en *B. humidicola* y los tratamientos asociados para los factores gramínea y asocio respectivamente y en los niveles de mulch e2 mostró la mayor concentración, éste difirió de los demás niveles, pero no se observaron diferencias entre ellos (Cuadro A1). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para Cu ($p < 0.0159$) y Zn ($p < 0.0001$) solo en la interacción asocio-mulch. La mayor concentración de Cu se observó en los tratamientos asociados sobresaliendo en ambos casos el nivel de mulch e2 (Fig 3.9). Los demás niveles de aplicación de mulch no difirieron entre ellos pero sí del control. La misma situación se observó para el caso del Zn (Fig 3.10).

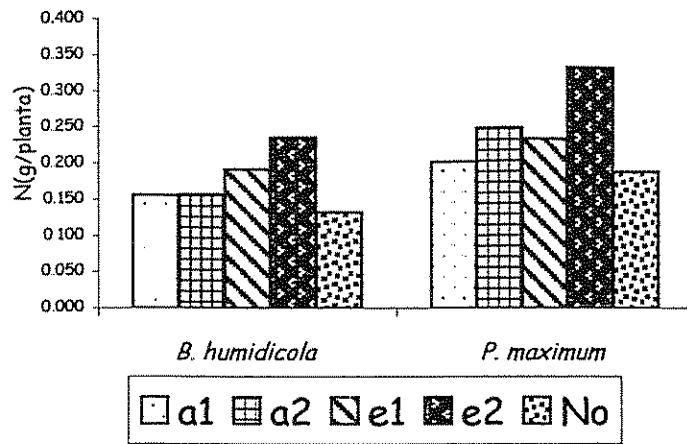


Figura 3.7. Concentración de N en el follaje de *B. humidicola* y *P. maximum* en la interacción gramínea-mulch

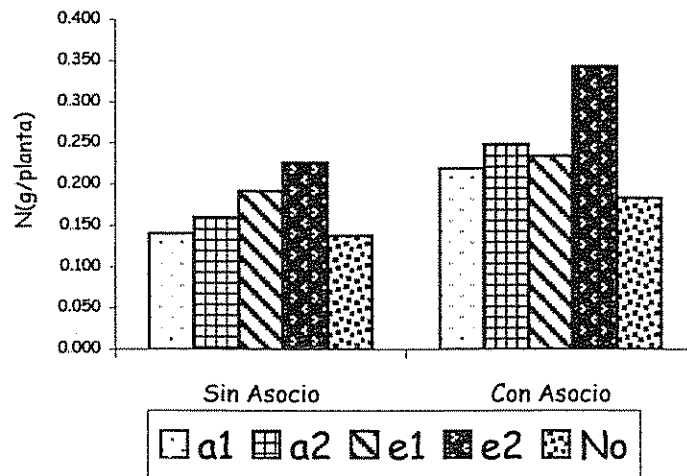


Figura 3.8. Concentración de N en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch

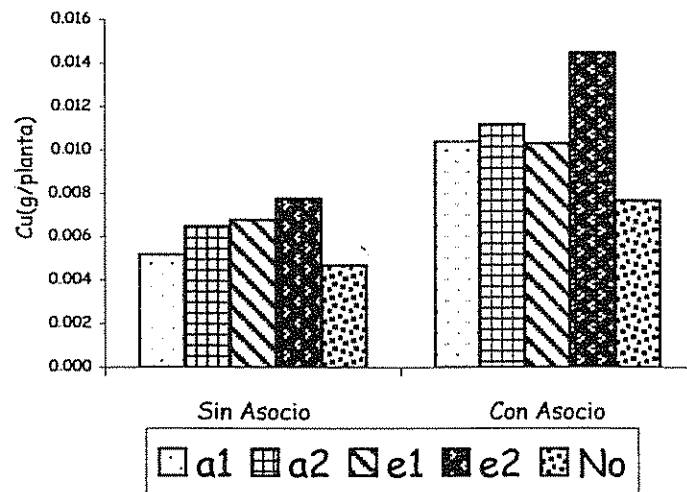


Figura 3.9. Concentración de Cu en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch

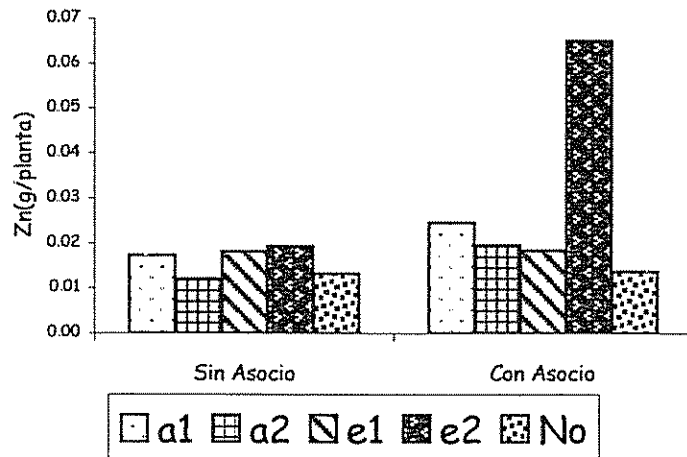


Figura 3 10 Concentración de Zn en los tratamientos asociados y sin asocio en la interacción asocio-mulch

3.3.1.7. Manganeso. En *P. maximum* y los tratamientos asociados se observaron las mayores concentraciones de Mn en los efectos simples de gramínea y asocio, y en los niveles de mulch el nivel e2 mostró la mayor concentración seguida por e1 y a2 que no difirieron estadísticamente, seguidos por los niveles a1 y No (Cuadro A1)

3.3.2. Concentración de nutrientes en raíces .

Los efectos simples gramínea y mulch mostraron diferencias significativas respecto a la concentración de nutrientes en raíces, observándose a *B. humidicola* como la gramínea con la mayor concentración de todos los nutrientes estudiados. Con los niveles de mulch aplicados, la concentración de nutrientes en raíces fue diferente para cada nutriente y entre niveles (Cuadro A2).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de nutrientes en raíces para la interacción gramínea-asocio con: Ca ($p < 0.0128$), Mg ($p < 0.0352$), P ($p < 0.0001$), N ($p < 0.0001$) y Mn ($p < 0.0424$). La Figura 3.11 muestra la concentración de nutrientes en raíces de *B. humidicola* (Fig. 3.11 a) y *P. maximum* (Fig. 3.11b).

Fue *B. humidicola* cuando se sembró asociada, la especie donde se observaron las mayores concentraciones de nutrientes (Fig. 3.11a). *P. maximum* mostró menores concentraciones de nutrientes con relación a *B. humidicola*, pero en todos los casos de asocio se observaron las mayores concentraciones (Fig. 3.11b). En ambas gramíneas los nutrientes que mostraron mayor concentración fueron N y Mn. La concentración de Ca, Mg y P siguió esa secuencia decreciente.

En la interacción asocio-mulch (Fig. 3.12) se encontraron diferencias significativas para Ca ($p < 0.0001$), K ($p < 0.0008$), P ($p < 0.0008$), N ($p < 0.0001$), y Zn ($p < 0.0160$). Se observó mayor concentración de Ca (Fig. 3.12a) en los tratamientos asociados, siendo el mulch e2 el mayor y después e1, a2, a1 y No. El nivel de mulch e1 fue el mayor en los tratamientos sin asocio seguido por a2, a1 e2 y No para este nutriente. La concentración de P tuvo el mismo comportamiento que la de Ca para esta interacción (Fig. 3.12b).

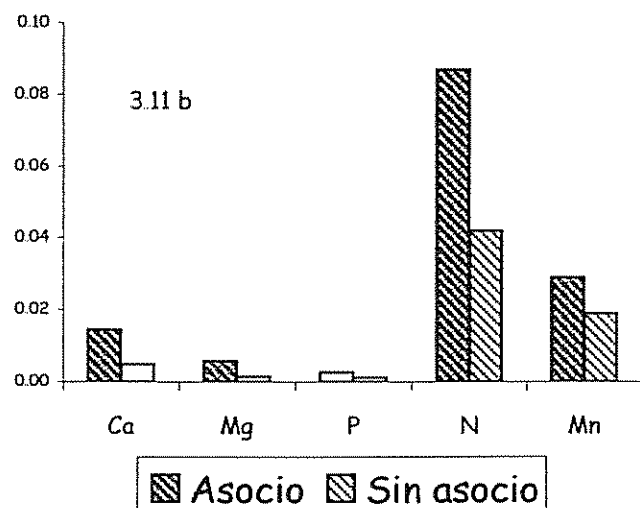
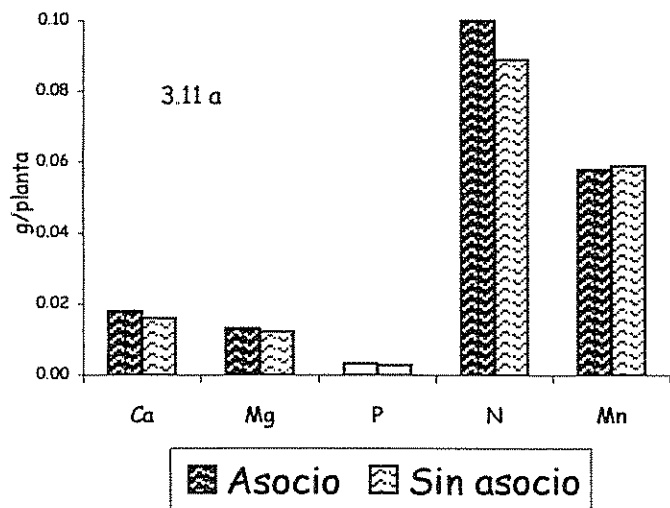


Figura 3.11. Concentración de nutrientes en raíces de *B. humidicola* (3.11 a) y *P. maximum* (3.11 b) en la interacción gramínea-asocio.

La mayor concentración de K (Fig. 3.12c) se observó con el nivel a2 en los tratamientos sin asocio, los niveles a1, e1 y e2 no mostraron diferencia. En los tratamientos asociados, el nivel e2 fue el mayor seguido del nivel a2. Entre a1 y e1 no se observó diferencia pero si de todos los niveles de mulch con el control en los dos niveles de asocio.

Se observó la mayor concentración de N (Fig. 3.12d) en los tratamientos asociados con el nivel e1 de mulch seguido de los niveles e2, a2, a1 y No. Este comportamiento fue similar en los tratamientos sin asocio.

La concentración de Zn en las raíces (Fig. 3.12 e) fue mayor en los tratamientos asociados y entre ellos con los niveles de mulch de *E. poeppigiana* seguidos de los de *A. mangium*. En los tratamientos sin asocio, Se colectó follaje de los árboles de distintos estratos, luego se separaron las hojas y se picaron para homogeneizar el material y aplicarlo como mulch. se observó que la concentración de Zn en las plantas siguió el orden e1, e2, a2 y No. Para los dos niveles de asocio con todos los niveles de mulch, la concentración de Zn en las plantas fue más alta comparándolos con el control

El K fue el único nutriente con el que se encontraron diferencias significativas ($p < 0.0001$) en la interacción gramínea-mulch (Fig. 3.13). *B. humidicola* mostró las mayores concentraciones de K con los niveles a2, e2, a1 y e1, en ese orden. La concentración de K en las plantas de *P. maximum* fue notablemente menor con todos los niveles de mulch. Para las dos gramíneas el control mostró la menor concentración con relación a los niveles de mulch aplicados.

3.3.3. Eficiencia de Absorción de Nutrientes (EA)

De los ocho nutrientes analizados (Ca, Mg, K, P, N, Cu, Zn y Mn), se encontraron diferencias estadísticamente significativas para esta variable solamente para los nutrientes N, Ca, Mg y K. En los efectos simples difirieron significativamente Ca ($p < 0.0001$) y Mg ($p < 0.0012$), en el factor gramínea, Ca ($p < 0.0421$), Mg ($p < 0.0001$) y K ($p < 0.0001$) en el factor asocio, y N ($p < 0.0001$), Ca ($p < 0.0001$), Mg ($p < 0.0001$) y K ($p < 0.0001$) en el factor mulch. También se observaron diferencias significativas en las interacciones gramínea-asocio ($p < 0.0001$), gramínea-mulch

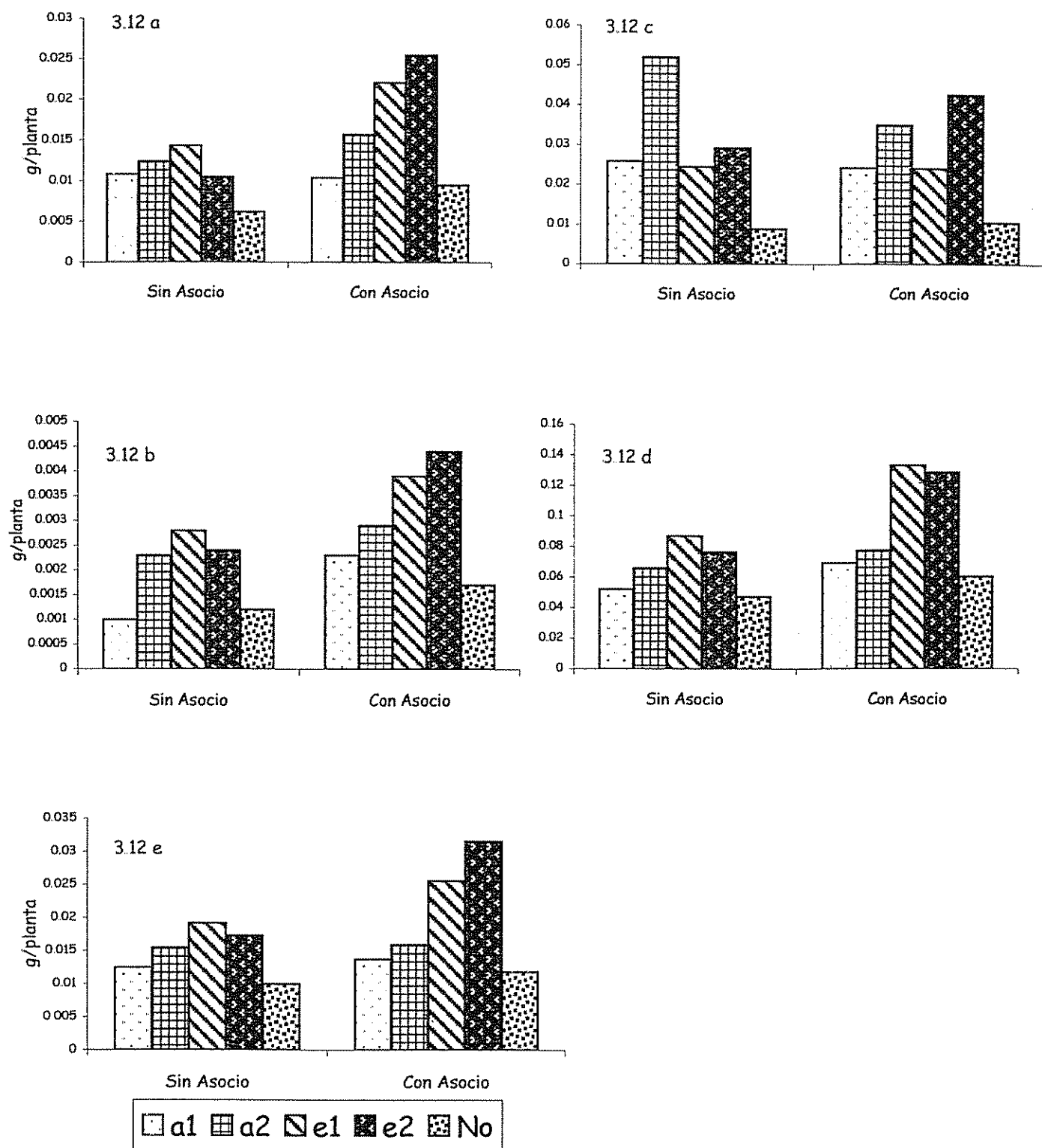


Figura 3.12 Concentración de Ca (3.12 a), P (3.12 b), K (3.12 c), N (3.12 d) y Zn (3.12 e), en raíces de los tratamientos sin asocio y asociados para la interacción asocio mulch.

($p < 0.0001$), asocio-mulch ($p < 0.0001$) y para la triple interacción gramínea-asocio-mulch ($p < 0.0001$)

En la Figura 3.14 se muestra el porcentaje promedio de EA por especie de gramínea (*B. humidicola* Fig 3.14a, *P. maximum* Fig 3.14b) en cada nivel de asocio. Para los tratamientos asociados el orden en el que se dio la EA fue $K > Mg > N > Ca$ para el caso de las dos gramíneas. Los tratamientos sin asocio presentaron diferente orden para cada gramínea, siendo $K > N > Mg > Ca$ en el caso de *B. humidicola* y $K > Ca > N > Mg$ para el caso de *P. maximum*.

En la interacción gramínea-mulch (Fig. 3.15) la EA para K fue la más alta en las dos especies de gramíneas para todos los niveles de mulch pero para Ca, Mg y N la tendencia fue diferente tanto entre niveles de mulch como entre gramíneas.

La EA de *B. humidicola* (Fig. 3.15a) siguió la tendencia $Mg > Ca$ para todos los niveles de mulch, y entre ellos la EA de N fue mayor con los niveles a1 y e1 comparada con a2 y e2 respectivamente.

En el caso de *P. maximum* (Fig. 3.15b) la tendencia de EA con la aplicación de mulch de *E. poeppigiana* fue $N > Mg > Ca$ en los dos niveles aplicados, pero con el mulch de *A. mangium* el comportamiento fue muy variable.

La Figura 3.16 muestra los porcentajes promedio de EA en la interacción asocio-mulch. En los tratamientos sin asocio (Fig. 3.16a), la EA de N fue mayor en los niveles a1 y e1 que en los niveles a2 y e2 respectivamente. Entre niveles de mulch de *E. poeppigiana* la tendencia de EA fue $N > Mg > Ca$ en los dos niveles siendo mayor para el nivel e1. La EA entre nutrientes y niveles de mulch de *A. mangium* fue diferente entre nutrientes y entre los dos niveles.

En los tratamientos con asocio (Fig. 3.16b), la EA encontrada con el mulch de *E. poeppigiana* siguió la tendencia $K > Mg > N > Ca$. Con el mulch de *A. mangium* se observó que la EA fue $K > Mg$ en los dos niveles pero el % de eficiencia fue mayor en el nivel a1. Para N y Ca la EA no difirió entre niveles.

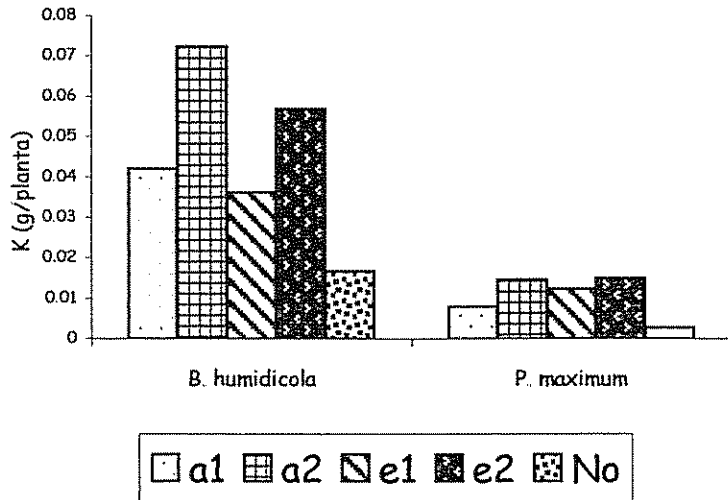


Figura 3.13. Concentración de K en raíces de *B. humidicola* y *P. maximum* en la interacción gramínea-mulch.

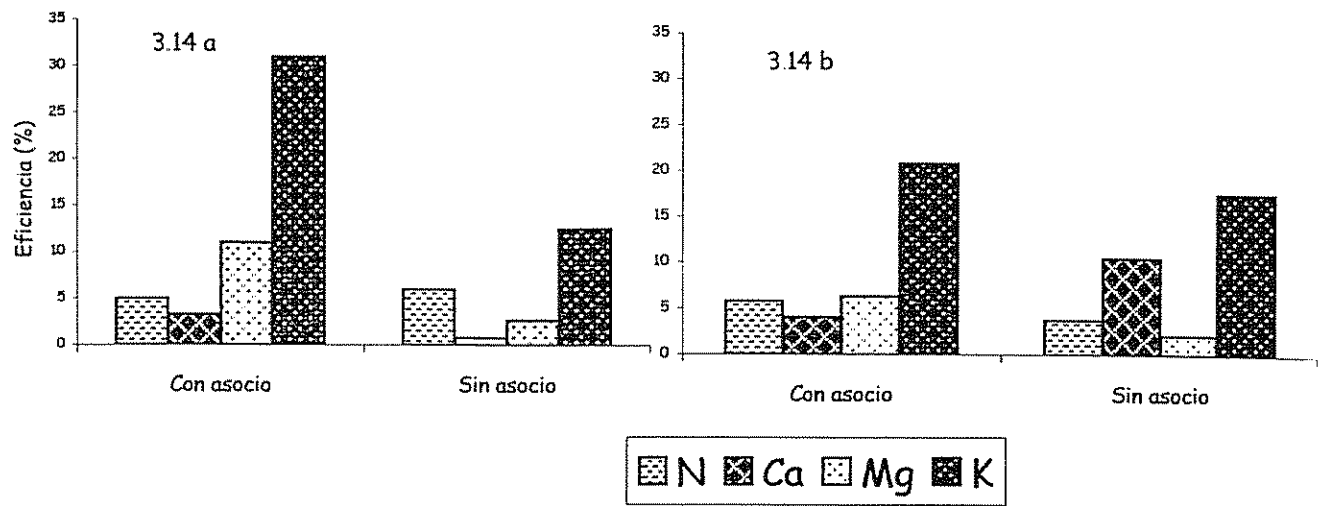


Figura 3.14. Porcentajes de eficiencia de absorción (EA) de N, Ca, Mg y K de *B. humicola* (3.14 a) y *P. maximum* (3.14 b) en la interacción gramínea-asocio.

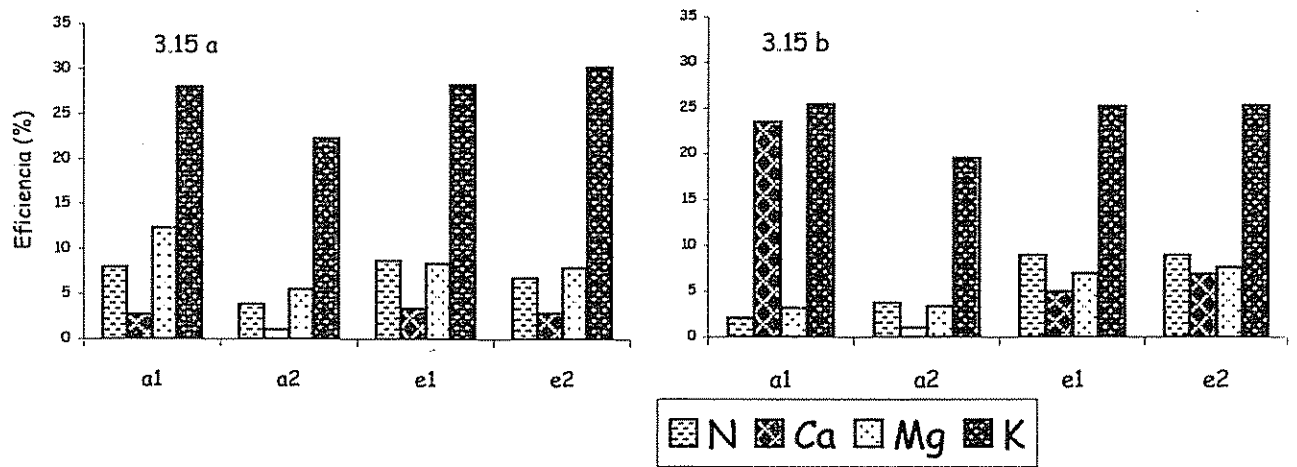


Figura 3.15. Porcentajes de eficiencia de absorción (EA) de nutrientes por *B. humicola* (3.15 a) y *P. maximum* (3.15 b) en la interacción gramínea-mulch.

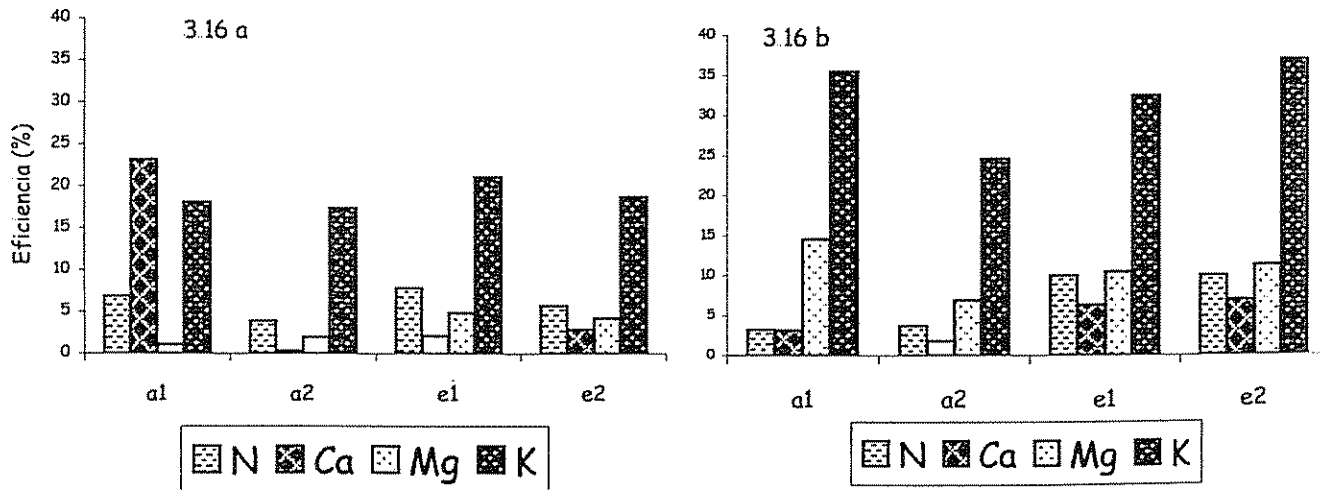


Figura 3.16. Porcentajes de eficiencia de absorción (EA) de nutrientes en los tratamientos sin asocio (3.16 a) y asociados (3.16 b) en la interacción asocio-mulch.

3.4. DISCUSION

3.4.1. Concentración de nutrientes.

3.4.1.1. Calcio y Magnesio.

Los resultados encontrados para las interacciones gramínea-asocio y gramínea-mulch en relación a la concentración de Ca en las plantas de *P. maximum*, concuerdan con los encontrados por Faquin *et al.*, (1994) al evaluar las concentraciones de este nutriente en *P. maximum* y *B. decumbens*, aunque en ese caso las plantas crecieron solas sin asocio de leguminosas. Contrariamente a los resultados obtenidos en este estudio, Haag *et al.*(1967), encontraron que la concentración de Ca en *P. maximum* fue la más baja, cuando la comparó con otros forrajes.

La concentración de Ca y Mg encontrada en el follaje, que en este estudio tuvo una tendencia muy similar, generalmente se relaciona, pues parecen existir interacciones (antagonismos y sinergismos) entre ellos y con el K a nivel foliar, ésto tiene que ver con la absorción que las plantas hagan de estos nutrientes (Bertsch, 1995). No debe olvidarse que la capacidad de acumulación de Ca y Mg, es también dependiente de factores hereditarios (Clark, 1993). En el caso de *B. humidicola*, se ha encontrado que esta especie presentó los requerimientos más bajos de Ca comparada con otras especies como *B. decumbens* y *B. brizantha* (Fisher y Kerridge, 1996), lo cual apoya la idea de que el genotipo influye en los requerimientos y utilización de nutrientes.

Las observaciones de este estudio respecto a la respuesta de la aplicación de mulch indican que la mayor concentración de Ca en el follaje de los pastos, se dio con la aplicación del mulch de *E. poeppigiana*, muy posiblemente la capacidad de rápida descomposición de las hojas de esta leguminosa y obviamente el contenido de Ca en ese mulch con los niveles aplicados, favoreció la absorción de Ca por las gramíneas. Se ha encontrado una buen ciclaje del Ca en otros sistemas donde se han hecho aplicaciones de follaje de *E. poeppigiana* y donde de la misma forma que en este caso el aporte del follaje contribuyó a la mayor concentración de Ca en el cultivo asociado (Fassbender, 1993)

La aplicación de mulch de *A. mangium* tuvo el mismo efecto sobre la concentración de Ca ni de Mg en las gramíneas con relación a los resultados encontrados con *E. poeppigiana*, pero tuvo un mayor efecto comparada con el control. Es muy posible que por las características propias del follaje de *A. mangium* (alto contenido de compuestos secundarios que dificultan la descomposición en el corto plazo) el aporte de nutrientes no se haya expresado más claramente. Esta idea se apoya de las observaciones encontradas en la literatura (Duguma 1994; Sánchez, 1994), donde se reportó la lenta descomposición del follaje de *A. mangium*.

3.4.1.2. Potasio.

Según Bertsch (1995) por ser un elemento móvil y no estructural, el K pasa a ser disponible por las plantas rápidamente después de que se aplican residuos vegetales al suelo. Los resultados encontrados en este estudio apoyan la hipótesis de una rápida liberación de K en el follaje especialmente de *E. poeppigiana*.

Se han reportado concentraciones y requerimientos de este elemento mayores en *P. maximum* que en *B. humidicola*, incluso esta última presentó requerimientos menores que otras variedades de *Brachiaria* (Haag, *et al.*, 1967; Martínez y Haag, 1980; Fisher y Kerridge, 1996). Es probable entonces, que las menores concentraciones de este nutriente observadas en *B. humidicola* estén relacionadas a sus necesidades de K.

Los pastos han mostrado ser más eficientes que las leguminosas en la toma de K del suelo (Fisher y Kerridge, 1996); posiblemente esta capacidad de los forrajes se manifestó en las observaciones encontradas respecto a las mayores concentraciones de K cuando las gramíneas se asociaron con la leguminosa *C. macrocarpum*. La aplicación de los niveles de mulch a las gramíneas asociadas tuvo seguramente una influencia importante, considerando la capacidad de *E. poeppigiana* para aportar este nutriente (Palm y Sánchez, 1990; Fassbender, 1993) y en general las características propias del K en su papel como nutriente absorbido por las plantas (Bertsch, 1995)

La respuesta a la aplicación de mulch de *A. mangium* no difirió de los tratamientos sin asocio, posiblemente por las características de la hojarasca de esta leguminosa no se manifestó una respuesta mayor en la concentración de K para las gramíneas, sin embargo, los resultados

muestran mejor respuesta que el control, lo cual permite inferir, aunque sin mucha precisión; que hubo algún efecto

3.4.1.3. Fósforo.

Los resultados obtenidos indican que *E. poeppigiana* puede aumentar la concentración de P en las gramíneas; particularmente en *B. humidicola* cuando está asociada con leguminosas. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Fassbender (1991), al combinar *E. poeppigiana* con otros cultivos, en donde observó que la gran cantidad de hojas y ramas producidas por esta especie, promovieron un mayor reciclaje de P.

Dado que el P es de los nutrientes más necesarios en el mantenimiento de pasturas, la selección de especies con bajos requerimientos de P es necesaria para tener una producción eficiente (Sánchez y Salinas, 1981). Según; Martínez y Haag (1980), las plantas eficientes en absorción de P son las que lo pueden tomar del medio, aún cuando se encuentra en bajas concentraciones, y tienen alta producción de MS. Las plantas eficientes en la utilización de P necesitan cantidades pequeñas de este elemento por unidad de MS producida. Aunque se ha observado que el P es el nutriente más limitante en el crecimiento y productividad de *Brachiaria* en suelos ácidos (Sánchez y Salinas, 1981), algunos estudios con *B. humidicola* han reportado que esta especie es muy eficiente en la absorción y utilización de P, sobresaliendo cuando se comparó con *P. maximum*. (Martínez y Haag, 1980; Fisher y Kerridge, 1996)

Las especies de *Brachiaria* son excelentes hospederas de vesículas arbúsculo-micorrizicas (VAM) y son altamente dependientes de ellas cuando crecen en suelos ácidos de baja fertilidad. La principal estrategia de esta especie para adquirir P del suelo es la producción de un extenso sistema radicular y la asociación con VAM que le permiten explorar mayores volúmenes de suelo (Rao *et al.* 1996). Esas características muy probablemente favorecieron los resultados encontrados en este estudio respecto a la concentración de P en *Brachiaria*.

Furlani y Usberti-Filho (1990) concluyeron que la distribución en el transporte del P a la parte aérea es una característica importante entre genotipos de *P. maximum*, las variedades de ciclo más tardío mostraron mayores proporciones de MS y contenido de P en la parte aérea, en relación

a las raíces y a toda la planta, cuando se adicionaron niveles de P en solución nutritiva en cantidades de 2 a 4 mg/l. Sin embargo, en este estudio *P. maximum* mostró menores concentraciones que las encontradas con *B. humidicola*, lo cual sugiere que la capacidad de *P. maximum* para tomar P del suelo es menor que la que mostrada por *B. humidicola*.

3.4.1.4. Nitrógeno.

Los resultados encontrados en la concentración de N en las plantas siguieron una tendencia parecida a la antes mencionada con *P. maximum* y los tratamientos asociados, observándose mayores concentraciones de N en el follaje en esos casos. Haag *et al.* (1967) observaron que la absorción de N por *P. maximum* es de las mayores al compararla con otros forrajes y observando la absorción de los otros nutrientes. Resultados diferentes fueron encontrados por Faquin *et al.* (1994) quien observó mayor concentración de N en la parte aérea de las plantas de *B. humidicola* y menor en las de *P. maximum*. En su estudio concluyó que las cantidades acumuladas de nutrientes de cada especie están influenciadas por la edad de la planta, el momento del corte y la forma de adicionar nutrientes. Posiblemente sus conclusiones respecto a la influencia de ciertos factores sobre las cantidades acumuladas de nutrientes se hayan expresado en los resultados encontrados, especialmente en lo referente a la forma de adición de nutrientes por medio del mulch.

Respecto a la aplicación de residuos orgánicos al suelo, se han mencionado los factores que regulan la descomposición y liberación de nutrientes tales como clima, temperatura humedad, composición química del residuo orgánico, tipo de suelo y si la aplicación se realizó incorporando el material al suelo (Szott y Kass, 1993). Otros autores han descrito con mayor detalle la influencia de la manipulación de los residuos orgánicos, considerando factores como la edad de las hojas que afecta el grado de lignificación, la distribución en el follaje de los compuestos secundarios en el momento de ser podadas y el tamaño de las partículas que tiene influencia sobre la determinación de la calidad del residuo (Vanlawe *et al.*, 1997; Mafongoya *et al.*, 1997; Handayanto; 1997).

Algunas de estas consideraciones podrían ser tomadas en cuenta en condiciones de campo, sin embargo, podrían implicar costos adicionales. En este estudio la aplicación del mulch al suelo no

se incorporó debido a que en la realidad los árboles en la pastura se defolían o el follaje se distribuye en el suelo sin incorporarlo. Sin embargo, el material verde fue picado debido al tamaño de las macetas donde se aplicó.

Aunque el nivel e2 de mulch fue con el que se observó la mayor concentración de N en las plantas, los niveles e1, a2 y a1 mostraron tener efecto, aunque en menor proporción. Posiblemente la liberación de nutrientes de *A. mangium*, además de estar influenciada por el contenido de polifenoles no se liberó en sincronía con las necesidades de las gramíneas en la etapa de establecimiento y la primera fase de crecimiento.

Este efecto ha sido estudiado con otras especies. Según Palm y Sánchez (1991), las leguminosas con bajo contenido de polifenoles usadas como abono verde o mulch, pueden liberar el N rápidamente y ofrecer suficiente N para el crecimiento de las plantas, pero el N puede ser fácilmente perdido por lixiviación si no se libera en sincronía con la demanda de las plantas. Las leguminosas con alto contenido de polifenoles pueden reaccionar con compuestos orgánicos del N y no ofrecer este en forma suficiente para el crecimiento en el corto plazo, pero podría contribuir a la concentración de N orgánico en el suelo y ofrecer una lenta pero continua adición de N a largo plazo, la combinación de dos tipos de leguminosas podría promover un mejor manejo del ecosistema.

Los resultados encontrados en el presente estudio, en cuanto a concentración de nutrientes, pueden estar influenciados por el tiempo, considerando que el análisis se realizó solo una vez al final del estudio, ya que según Haag *et al.* (1967) la concentración de nutrientes está influenciada por la edad de las plantas.

En ese contexto, podría esperarse que de haber prolongado el tiempo experimental, podría tal vez observarse con mayor claridad el efecto de cada uno de los mulches aplicados.

3.4.2. Concentración de Nutrientes en Raíces.

La concentración de nutrientes en las raíces mostró altos valores para el caso de N y Mn en las dos especies de gramíneas estudiadas. Las concentraciones de Ca, Mg y P fueron

significativamente menores. Este hecho puede explicarse por las características de absorción de esos nutrientes por las plantas, en el caso del N, su absorción en forma de amonio se reduce al aumentar la acidez, mientras que la absorción de nitrato reduce la absorción de formas iónicas de Ca, Mg y K, pero aumenta la absorción de iones de fósforo, sulfato y cloro (Kass, 1996).

En el caso de *B. humidicola*, la concentración observada de N en raíces, en los dos niveles de asocio evaluados, fue mayor que la encontrada en *P. maximum*, lo cual podría explicarse por las características del sistema radicular de *B. humidicola*, que por tener mayor contacto con el suelo tiene una alta capacidad de absorber los nutrientes. Además, de su capacidad de tomar el N del suelo en forma tanto de amonio como de nitratos (Fisher y Kerridge, 1996).

Se ha observado que las diferencias entre genotipos para las tasas de consumo de nitratos varían en un 50% o más con la edad de las plantas. Las relaciones de eficiencia de consumo (MS producida por unidad de N) variaron entre genotipos de plantas (Clark, 1983). Estas observaciones reafirman los hallazgos encontrados respecto a las concentraciones de N encontradas en las plantas de *B. humidicola*, y los resultados encontrados con *P. maximum*.

Respecto al Mn, existe una relación entre la forma en la que se encuentra este nutriente en el suelo y la capacidad de las raíces de absorberlo. Las raíces de las plantas pueden tomar el Mn por contacto directo con el suelo (Kass, 1996). Algunos factores ambientales (Ca, Fe y nivel de Mn, pH, fuente de N y temperatura) tienen influencia en la distribución de Mn entre raíces y rebrotes (Clark, 1983). Dadas la forma de absorción de Mn y los factores que influyen su distribución en las plantas, podrían explicarse las concentraciones encontradas de este nutriente en las gramíneas evaluadas en este estudio.

Se observó mayor efecto en la concentración de Zn en los tratamientos asociados en relación con los que no lo estuvieron. Respecto a este elemento, se ha observado que aún cuando las raíces influyen la absorción de Zn, las interacciones con elementos como P, Fe, Mn y Cu tienen efecto en el consumo de Zn. Usualmente, las raíces presentan concentraciones anormales de este elemento en relación con las partes aéreas de la planta (Clark, 1983).

3.4.3. Eficiencia de Absorción .

Existe una vasta investigación sobre la eficiencia de uso de N en gramíneas (Novoa y Loomis, 1981; Moll *et al.*, 1982; Van Sanford y McKown, 1986; Thornton and Millard, 1996), sin embargo, la información sobre este proceso fisiológico en las plantas forrajeras relacionado con otros elementos nutritivos (macro y micronutrientes) ha sido poco estudiada.

La eficiencia de absorción observada en los resultados de este trabajo para las interacciones estudiadas fue $K > Mg > Ca > N$. Estos resultados concuerdan con otros estudios donde se ha observado que la liberación de nutrientes siguió esta misma tendencia (Palm y Sánchez, 1990).

Se observó claramente la eficiencia de las plantas para absorber K. En todas las interacciones estudiadas el K presentó los mayores porcentajes de eficiencia de absorción (Figs. 2 y 3). Estas observaciones se apoyan en el hecho de que el K tiene alta disponibilidad en los suelos ácidos, debido a la presencia de iones aluminio y sus formas hidratadas que compiten por los sitios de intercambio en las arcillas, dejando al K disponible (Kass, 1996).

En los trópicos húmedos en general, 50% o más de K de materiales orgánicos es liberado en menos de un mes (Szott y Kass, 1993). Posiblemente las condiciones de invernadero a las que se sometieron los tratamientos en estudio favorecieron la absorción de este nutriente, ya que aún en los tratamientos con aplicación de mulch de *A. mangium*, se observó una significativa eficiencia en relación a la encontrada con Mg, N y Ca.

Las interacciones entre el K y otros cationes como el Mg y Ca a nivel foliar afectan la absorción de Ca y Mg al adicionar K al suelo (Bertsch, 1995). Es posible que los resultados encontrados en el presente trabajo hayan demostrado los procesos antagónicos que se dan entre esos tres cationes.

Otros factores, como el papel de las raíces en la absorción de K (Kass, 1996), se consideran como influencia en la habilidad de las plantas para absorberlo, especialmente en el caso de especies como *Brachiaria* cuyo sistema radicular, por sus características, tiene mayor contacto

con el suelo (Rao *et al.* 1996). De acuerdo con estas ideas, los resultados encontrados mostraron una eficiencia significativa con esta especie, mayor a la observada con *P. maximum*.

En los resultados encontrados respecto a la eficiencia de absorción de nutrientes, se observaron mayores porcentajes de eficiencia de absorción en *B. humidicola* respecto a *P. maximum*. Se han mencionado con anterioridad en este trabajo, los atributos de *Brachiaria* para la absorción de nutrientes, de hecho la concentración de nutrientes en las raíces es un indicio de la eficiencia con la que esta especie absorbe los nutrientes. Datos adicionales se consultaron para expresar con más claridad los resultados encontrados.

Se han identificado especies de *Brachiaria* con una alta capacidad de adaptación a condiciones de suelos infértiles, lo cual demuestra que esta especie hace un uso más eficiente de nutrientes aplicados, incluso se desempeñan mucho mejor que otras especies como *P. maximum* en esas condiciones de suelo (Rao *et al.* 1996), lo cual se demostró en el presente estudio. Por otra parte, también se ha encontrado que la aplicación de niveles específicos de nutrientes y su absorción por diferentes genotipos de plantas es determinante en el logro un adecuado y eficiente ciclaje de nutrientes por los cultivos (Moll *et al.* 1982)

Posiblemente en este trabajo se manifestó este proceso al no encontrarse una fuente disponible de N en el corto tiempo de realización, sobre todo en lo que se refiere al mulch de *A. mangium*. Sin embargo, algunos estudios han reportado la eficiencia de especies como *B. humidicola*, para tomar del suelo pequeñas cantidades de los diferentes formas de nitrógeno del suelo (Fisher and Kerridge, 1996). Quizás esta capacidad de adaptación de *B. humidicola* explica los resultados observados en este estudio.

En cuanto a la aplicación de mulch, no se debe omitir que aún cuando las características de *E. poeppigiana* y *A. mangium* son en gran medida diferentes, los resultados revelaron efectos superiores en la concentración de nutrientes en el follaje y las raíces respecto a los tratamientos de control, lo cual podría explicar la influencia de la aplicación de mulch sobre la eficiencia de absorción de nutrientes por las plantas.

Se ha reportado que la eficiencia de absorción de N en plantas de *Triticum aestivum* y *Zea mays*, está asociada en una proporción significativa a la variación genotípica de la eficiencia de uso del N para el rendimiento y el contenido de proteína (Moll *et al.*, 1982; Clark, 1983; Van Sanford y McKown, 1986) Las especies utilizadas en este estudio se caracterizan por su adaptación a condiciones deficientes de fertilidad de suelos ácidos, lo cual podría explicar su respuesta a las aplicaciones de mulch usadas.

En general, los resultados observados en las variables estudiadas para el factor asocio fueron superiores con relación a los tratamientos sin asocio. Gil *et al.* (1991) al estudiar el efecto de la distancia y distribución de la siembra en el establecimiento de gramíneas y leguminosas (*B. decumbens*, *B. dictyoneura*, *B. humidicola* con *C. macrocarpum*, *A. pintoii*, *D. ovalifolium*), demostraron que la presencia de especies leguminosas no afectó el crecimiento de las gramíneas, por el contrario, se beneficiaron y concluyeron que la presencia de las leguminosas favoreció la calidad nutritiva de las pasturas.

Esos resultados concuerdan con los encontrados por Wildin (1977) en pasturas asociadas, donde se observó que el rendimiento se incrementó al aplicar N; en ese caso el componente pasto generalmente responde más que la leguminosa, la cual, por su capacidad de nodulación no depende del N del suelo, pero la adición de P, S y especialmente K, promueven el rendimiento relativo del pasto en sistemas con suelos deficientes de N.

Estas observaciones apoyan los resultados encontrados en este estudio, en los casos de los tratamientos asociados, que en general, presentaron mayores concentraciones de nutrientes en el follaje y raíces y especialmente mayores eficiencias de absorción.

3.5. CONCLUSIONES

La concentración de Ca observada en *P. maximum* fue mayor que en *B. humidicola*, lo cual sugiere que *P. maximum* tiene mayores requerimientos de este nutriente en comparación con *B. humidicola*. La concentración de Ca en el follaje de las plantas cuando estuvieron asociadas fue mayor que cuando no lo estuvieron indicando que posiblemente el aporte de este nutriente por el mulch fue adecuado al momento en el que lo tomaron las plantas.

La concentración de Mg y K en el follaje de *P. maximum* y *B. humidicola*, fue mayor cuando los forrajes se asociaron, aún cuando no se evaluó por separado el comportamiento de la leguminosa en asocio. Se observó claramente la influencia positiva de esta especie en la concentración de los nutrientes en el forraje.

La concentración de P en *B. humidicola* fue superior que en *P. maximum*, sugiriéndose que *B. humidicola* presentó mayor capacidad para absorber P del suelo. Respecto al asocio, indudablemente la presencia de la leguminosa asociada favoreció la concentración de P en el forraje.

De los dos forrajes evaluados, *P. maximum* mostró mayor concentración de N, posiblemente el momento de liberación de N por el mulch fue apropiado para *P. maximum*, pero no debe olvidarse que *B. humidicola* posee una alta capacidad para absorber el N del suelo. De igual manera, los tratamientos asociados mostraron mayor concentración de este nutriente, indicando con ello la influencia favorable de la leguminosa asociada.

La concentración de N y Mn en las raíces de los forrajes fue mayor que la de los otros nutrientes, y mayor en *B. humidicola*, indicando que si la absorción en el caso de N fue como nitrato esto redujo la absorción de iones Ca, y Mg. Respecto al Mn, los resultados sugieren la capacidad de los forrajes evaluados para tomar este nutriente del suelo así como el hecho de su disponibilidad en el suelo.

Los beneficios de la aplicación de mulches se observaron también en las mayores concentraciones de Ca, P, N y Zn en los forrajes asociados

La concentración de K en las plantas de *B. humidicola* indicó por una parte la alta capacidad de esta especie para absorberlo y muy posiblemente, la disponibilidad del mismo en el suelo.

La eficiencia de absorción de K en las dos gramíneas estudiadas indicó sin duda su disponibilidad en el suelo y la capacidad de las dos especies para tomarlo.

El nivel e2 de mulch fue con el que se observaron las mayores concentraciones de nutrientes en el follaje de *P. maximum* y *B. humidicola*, tanto en los efectos simples como en las interacciones, principalmente las que incluyeron a los factores asocio y mulch.

La aplicación de mulch de *A. mangium* mostró menores concentraciones de nutrientes en el follaje de las gramíneas estudiadas comparado con las encontradas con *E. poeppigiana*, pero en general para los casos de asocio y nivel de mulch superó los resultados encontrados con el tratamiento de control, lo cual sugiere efectos positivos en la concentración de nutrientes en el follaje de las gramíneas en estudio con la aplicación de mulch de esta leguminosa.

La aplicación de mulches mostró una clara influencia en la concentración de nutrientes en el follaje, en las raíces y en la eficiencia de absorción de nutrientes. Sin embargo, no fue posible realizar la determinación del contenido de nutrientes en el suelo al final del ensayo, lo cual limita de alguna manera concluir sobre la dinámica de los nutrientes en el sistema completo, pero permite plantear nuevas hipótesis a probar llevando el estudio a condiciones de campo.

La capacidad de recuperación y utilización de nutrientes por las plantas no depende solo de la disponibilidad en la que se encuentren estos en el suelo, la genética de cada especie influye en este proceso, lo cual no debe olvidarse al evaluar el efecto de la aplicación de nutrientes mediante enmiendas orgánicas.

Los factores que determinan la eficiencia de absorción podrían variar en condiciones reales. Por tanto, debe considerarse el hecho de que este ensayo necesita validarse a nivel de campo pues la influencia de otros factores como la presencia de raíces de las especies leguminosas establecidas en la pradera, la adición de nutrientes por las excretas del ganado, el pisoteo del forraje harían variar la producción de biomasa, así como en lo que a cada uno concierne, en la dinámica de los nutrientes en el sistema

3.6. REFERENCIAS

- Bateman, J.V. 1970. Nutrición animal. Manual de métodos analíticos. Ed. Herrero, México, D.F.; 468 p.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, C.R., ACCS. 157 p.
- Blair, G.J.; Panjaitan, M.; Ivory, D.A.; Palmer, B.; Sudjadi, M. 1988. An evaluation of tree legumes on an acid ultisol in South Sumatra, Indonesia. *Journal of Agriculture Science* 111:3. pp. 435-441.
- Buresh, R.J.; Tian, G. 1998. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*. 38: 51-76.
- Clark, R.B. 1983. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. *Plant and Soil*. 72:175-196.
- Diaz-Romeu, R. 1970. Contenido de la materia orgánica y nitrógeno de los suelos de América Central. *Turrialba (C.R.)* 20:185-192.
- Duguma, B.; Tonye, J.; Kanmegne, J.; Manga, T.; Enoch, T. 1994. Growth of ten multipurpose tree species on acid soils in Sangmelima, Cameroon. *Agroforestry Systems*. 27: 107-119.
- Faquín, V., Neto, J.F., Evangelista, A.R., Do Vale, R. F. 1994. Limitações nutricionais do colômbio (*Panicum maximum*, Jacq) e da Braquiária (*Brachiaria decumbens*, Staff), em amostras de um latossolo do noroeste do Paraná: II Nutrição em Macro e Micronutrientes. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. 23 (4):553-563.
- Fassbender, H.W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2ª ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Fisher, M.J.; Kerridge, P.C. 1996. The Agronomy and Physiology of *Brachiaria* Species. In Miles, J.W.; Maass, B.L. and do Valle, C.B. (eds). 1996. *Brachiaria: Biology, Agronomy and Improvement*. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Empresa Brasileira de Agropecuaria EMBRAPA. Publicación CIAT No.259. Cali, Colombia. 288 p.
- Furlani, A.M.C.; Usberti-Filho, J.A. 1990. Guinea grass: efficiency of phosphorus uptake and utilization in nutrient solution. *Bragantia*. 49 (2): 413-423.
- Gil, E.; Alvarez, E. y Maldonado, G. 1991. Distancia y distribución de siembra en el establecimiento de tres especies de *Brachiaria* asociadas con leguminosas. *Pasturas Tropicales*. 13 (3): 11-14.
- Haag, H.P.; Bose, M.L.V.; Andrade, R.G. 1967. Absorção dos macronutrientes pelos capins colômbio, gordura, jaragua, napier e pangola. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*. 24:167-187.
- Halenda, C. 1988. Performance of *Acacia mangium* Willd. and *L. leucocephala* (Lam.) de Wit at Niah forest reserve, Sarawak. *Nitrogen Fixing Tree Research Report (EE.UU.)* 6:15-17.

- Handayanto, E.; Cadisch, G.; Giller, K.E. 1997. Regulating N mineralization from plant residues by manipulation of quality. In Cadish, G. and Giller, K.E. (eds.)1997. Driven by nature: plant litter quality and decomposition. Cab International. University of London, UK. 409 p.
- Holdrige, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. 216 p.
- Kass, D.C.L. 1996. Fertilidad de suelos 1ª ed. San José, Costa Rica. EUNED. 272 p.
- Kass, D.C. L.; Sylvester-Bradley, R.; Nygren, P. 1997. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. Soil, Biology and Biochemistry. 29 (5-6): 775-785.
- Lascano, C.E.; Teitzel, J.K. y Kong Pei Eng. 1997. Valor nutritivo de *Centrosema* y Producción Animal. In Shultze-Kraft, R.; Clements, R.J.; Keller-Grein, G. (eds). 1997. Centrosema: Biología, agronomía y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Publicación CIAT No. 208. Cali, Colombia 765 p.
- Libreros, J.H. 1990. Efecto de depositar en el suelo material de poda de poró (*Erythrina poeppigiana*) sobre la producción y calidad de la biomasa del king grass (*P. purpureum* + *P. typhoides*) establecido en asocio. Tesis Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica 116 p.
- Mafongoya, P.; Dzwowela, B.H.; Nair, P.K. 1997. Effect of multiporouse trees, age of cutting and drying method on pruning quality. In Cadish, G. and Giller, K.E. (eds.)1997. Driven by nature: plant litter quality and decomposition. Cab International. University of London, UK. 409 p.
- Martínez, H.E.P.; Haag, H.P. 1980. Níveis críticos de fósforo em *Brachiaria decumbens* (Stapf) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle), Schweickerdt, *Digitaria decumbens* Stent, *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stpaf, *Melinis minutiflora* Pal de Beauv, *Panicum maximum* Jacq. e *Pennisetum purpureum* Schum. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 37(2):913-977.
- Miles, J.W.; Maass, B.L. and do Valle, C.B. (eds.). 1996. *Brachiaria*: Biology, Agronomy and Improvment. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Empresa Brasileira de Agropecuaria EMBRAPA. Publicación CIAT. No.259. Cali, Colombia. 288 p.
- Moll, R.H.; Kamprath, E.J.; Jakson, A.W. 1982. Analysis and interpretation of factors wich contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal. 74: 562-564.
- Novoa, R. y Loomis, R.S. 1981. Nitrogen and plant production. Plant and Soil. 58: 177-204.
- Palm, C.A. and Sánchez, A. 1990. Descomposición and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. Biotropica 24 (4) p 330-338.
- Palm, C.A. and Sánchez, A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. Soil Biology and Biochemistry23 (1) p. 83-88.

- Quinlan, M. M. 1984. Mulches from two tropical tree species *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook and *Gmelina arborea* Rox. as nitrogen sources in the production of Maíz (*Zea mays* L.). Tesis Mag. Sc. Universidad de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Rao, I.M.; Kerridge, P.C.; Macedo, M.C.M. 1996. Nutritional requirements of *Brachiaria* and adaptation to acid soils. In Miles, J.W.; Maass, B.L. and do Valle, C.B. (eds). 1996. *Brachiaria: Biology, Agronomy and Improvement*. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Empresa Brasileira de Agropecuaria EMBRAPA. Publicación CIAT No.259. Cali, Colombia 288 p.
- Sánchez, P.A.; Salinas, J.G. 1981. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in Tropical America. *Advances in Agronomy*. 34:280-239.
- Sánchez, R. D. 1994. Efecto de la rotación de cultivos agrícolas y pastos en *Acacia mangium* y la influencia de éstos en la dinámica de nutrientes del suelo. In Osorio, V.R.; Morán, B.F.(eds) 1994. *Acacia mangium: comportamiento y potencial en Panamá*. Memorias del seminario técnico. CATIE-IRENARE. p 91-104.
- Skerman, P.J.; Riveros, F. 1992. Gramíneas Tropicales. Colección FAO: producción y protección vegetal, no. 23. FAO, Italia. 849 p.
- Szott, L.T.; Kass, D.C.L. 1993. fertilizers in sgroforestry systems. *Agroforestry Systems*.23 (2-3): 157-176.
- Thomas, R.J.; Asakawa, N.M. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 25(10): 1351-1361.
- Thornton, B.; Millard, P. 1996. Nitrogen uptake by grasses: changes induced by competing neighbour plants differing in frequency of defoliation. *Grass and forage science*. 51 (3): 242-249.
- Toledo, J. M.; Torres, F. 1997. Potential of Silvopastoral Systems in the Rain Forest. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Van Sanford, D.A.; McKown, C.T. 1986. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes. *Theoretical and applied genetics*. 72: 158-163.
- Vanlauwe, B.; Diels, N.; Sanginga, N.; Merckx, R. 1997. Residue quality and decomposition: An Unsteady Relationship?. In Cadish, G. and Giller, K.E. (eds.)1997. *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. Cab International. University of London, UK. 409 p
- Villareal, M., Chávez, O. 1991. Adaptación y producción de gramíneas y leguminosas forrajeras en San Carlos, Costa Rica. *Pasturas Tropicales*13 (2): 31-38.
- Wildin, J.H. 1977. The effects of some nutrients on grass-legume interactions. Thesis Mag. Sc. University of Queensland.165p.

IV. CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES GENERALES

El aporte de hojas de *E. poeppigiana* y el asocio de gramíneas con leguminosas mostró los mejores resultados al evaluar el crecimiento y la producción de forraje de *P. maximum* y *B. humidicola*. La respuesta de *A. mangium* al aplicarlo como mulch fue inferior a la de *E. poeppigiana*, pero fue mejor comparada con la ausencia de una enmienda y el asocio con la especie leguminosa, lo cual prueba que el crecimiento de forrajes es mejor con la aplicación de mulches y asociado a leguminosas, que debió estar influenciado por el aporte de nutrientes de los mulches aplicados.

El crecimiento y producción de biomasa están en función de la disponibilidad de nutrientes y de la eficiencia de absorción de los mismos por las plantas, aún cuando su liberación siguió distintos patrones de liberación dependiendo los tipos de mulch aplicados.

La producción de biomasa total en general fue mayor para todos los factores evaluados, por supuesto en ella estuvo involucrada el aporte de la leguminosa asociada en el caso de esos tratamientos, por lo cual debe considerarse, que en los tratamientos asociados, las mayores producciones de biomasa y concentración de nutrientes en el follaje y en raíces así como la eficiencia de absorción, tienen la influencia de la especie leguminosa asociada.

La concentración de nutrientes como Ca observada en *P. maximum* fue mayor que en *B. humidicola*, lo cual sugiere que *P. maximum* tiene mayores requerimientos de este nutriente en comparación con *B. humidicola*. La concentración de Ca en el follaje de las plantas cuando estuvieron asociadas fue mayor que cuando no lo estuvieron, indicando con ello que posiblemente el aporte de este nutriente por el mulch fue adecuado al momento en el que lo tomaron las plantas.

La concentración de Mg y K en el follaje de *P. maximum* y *B. humidicola* fue mayor cuando los forrajes se asociaron con *C. macrocarpum*, aún cuando no se evaluó por separado el

comportamiento de la leguminosa en asocio, se observó claramente la influencia positiva de esta especie en la concentración de los nutrientes en el forraje. Los resultados muestran una obvia eficiencia de absorción de K y Mn, lo cual puede indicar su disponibilidad en el suelo para poder ser tomados por la planta.

Los beneficios de la aplicación de mulches se observaron también en las mayores concentraciones de Ca, P, N y Zn en los forrajes asociados.

La concentración de N y Mn en las raíces de los forrajes fue mayor que la de los otros nutrientes, y mayor en *B. humidicola*, indicando que si la absorción en el caso de N fue como nitrato esto redujo la absorción de iones Ca, y Mg. Respecto al Mn, los resultados sugieren la capacidad de los forrajes evaluados para tomar este nutriente del suelo, así como el hecho de su disponibilidad en el suelo.

La eficiencia de absorción de K en las dos gramíneas estudiadas indicó sin duda su disponibilidad en el suelo y la capacidad de las dos especies para tomarlo.

El nivel e2 de mulch fue con el que en general se observaron las mayores concentraciones de nutrientes en el follaje y raíces de *P. maximum* y *B. humidicola*, tanto en los efectos simples como en las interacciones, principalmente las que incluyeron a los factores asocio y mulch. Como consecuencia de ello se pudo observar un mayor crecimiento y producción de biomasa de los forrajes en esos tratamientos.

La aplicación de mulch de *A. mangium* mostró menores concentraciones de nutrientes en el follaje de las gramíneas estudiadas comparado con las encontradas con *E. poeppigiana*, pero en general, para los casos de asocio y nivel de mulch, superó los resultados encontrados con el tratamiento de control, esto sugiere efectos positivos en la concentración de nutrientes en el follaje y raíces de las gramíneas en estudio, con la aplicación de mulch de esta leguminosa.

La aplicación de mulches mostró mejores resultados en la concentración de nutrientes en el follaje, en las raíces y en la eficiencia de absorción en relación a la ausencia de aplicación y

asocio. Sin embargo, no fue posible realizar la determinación del contenido de nutrientes en el suelo al final del ensayo, lo cual limita de alguna manera, concluir sobre la dinámica de los nutrientes en el sistema completo, pero permite plantear nuevas hipótesis a probar llevando el estudio a condiciones de campo.

La capacidad de recuperación y utilización de nutrientes por las plantas no depende solo de la disponibilidad en la que se encuentren estos en el suelo, la genética de cada especie influye en este proceso lo cual no debe olvidarse el evaluar el efecto de la aplicación de nutrientes mediante enmiendas orgánicas.

Los factores que determinan la eficiencia de absorción podrían variar en condiciones reales. Por tanto, debe considerarse el hecho de que este ensayo necesita validarse a nivel de campo pues la influencia de otros factores como la presencia de raíces de las especies leguminosas establecidas en la pradera, la adición de nutrientes por las excretas del ganado, el pisoteo del forraje harían variar la producción de biomasa así como en lo que a cada uno concierne en la dinámica de los nutrientes en el sistema.

El periodo de estudio en el presente trabajo, no permitió hacer una estimación más precisa de la permanencia y desempeño de las asociaciones con las especies utilizadas. Sería conveniente estudiar la producción en un periodo más largo y con diferentes frecuencias de corte.

Se recomienda la validación de este estudio a nivel de campo, con la introducción de pastoreo y la evaluación de otras especies de gramíneas y leguminosas, considerando aspectos económicos referentes al establecimiento y manejo de las especies leguminosas, y considerando también la influencia de la presencia del ganado y la respuesta animal.

Con base en estos resultados es posible considerar la combinación de opciones tales como el asocio de forrajes de leguminosas herbáceas con leñosas proveedoras de mulch con el fin de incrementar la producción de forraje. Como se pudo observar, los tratamientos de control fueron los de menor producción. Estos resultados muestran claramente las ventajas de la incorporación de enmiendas al suelo, respecto al crecimiento y producción de biomasa.

Los resultados encontrados en este estudio permiten inferir que la integración de las diferentes estrategias para mejorar la producción de pasturas es una alternativa técnicamente viable, sin embargo, es importante considerar la selección de especies y su capacidad de desempeño cuando se establecen en asociación

V. ANEXOS

Cuadro A1. Promedios de la concentración de nutrientes en el follaje en los diferentes niveles de gramínea, mulch y asocio (efectos simples).

Nutriente	GRAMÍNEA		MULCH				ASOCIO	
	<i>P. maximum</i>	<i>B. humidicola</i>	e2	e1	a2	a1	Con	Sin
Ca	0.054a	0.020b	0.053a	0.039b	0.034bc	0.031bc	0.047a	0.027b
Mg	0.020a	0.015b	0.025a	0.018b	0.016bc	0.015cd	0.021a	0.013b
K	0.246a	0.188b	0.32a	0.21bc	0.24b	0.195c	0.258a	0.177b
P	0.006b	0.008a	0.010a	0.007b	0.007b	0.006c	0.009a	0.005b
N	0.0242a	0.175b	0.285a	0.213b	0.204bc	0.180cd	0.246a	0.171b
Cu	0.009a	0.007b	0.011a	0.008b	0.008b	0.007bc	0.010a	0.006b
Zn	0.017b	0.027a	0.042a	0.018b	0.015b	0.021b	0.028a	0.016b
Mn	0.104a	0.083b	0.126a	0.095b	0.093b	0.081bc	0.114a	0.073b

e2=nivel 2 de *E. poeppigiana*; e1=nivel 1 de *E. poeppigiana*; a2=nivel 2 de *A. mangium*; a1= nivel 1 de *A. mangium*

Valores con letras iguales en cada factor no mostraron diferencias significativas con la prueba de Tukey $p<0.05$

Cuadro A2. Promedios de la concentración de nutrientes en raíces para los diferentes niveles de gramínea, mulch y asocio (efectos simples).

Nutriente	GRAMÍNEA		MULCH				ASOCIO	
	<i>B. humidicola</i>	<i>P. maximum</i>	e2	e1	a2	a1	Con	Sin
Ca	0.0174a	0.01b	0.018a	0.0182a	0.014ab	0.0106bc	0.0166a	0.0108b
Mg	0.0127a	0.0037b	0.0098ab	0.0107a	0.009ab	0.0068bc	0.0096a	0.0069b
K	0.0449a	0.0106b	0.036a	0.0243b	0.0436a	0.025b	0.028a	0.0274a
P	0.0031a	0.002b	0.0034a	0.0034a	0.0026b	0.002c	0.003a	0.0021b
N	0.0948a	0.065b	0.1027a	0.1102a	0.0719b	0.0607bc	0.0939a	0.0658b
Cu	0.1203a	0.0197b	0.0832a	0.0858a	0.0765a	0.063ab	0.0704a	0.0696a
Zn	0.0219a	0.0127b	0.0245a	0.0224a	0.0157b	0.0131b	0.0197a	0.0149b
Mn	0.0588a	0.0243b	0.0492a	0.0511a	0.0491a	0.0325b	0.0437a	0.0394a

e2=nivel 2 de *E. poeppigiana*; e1=nivel 1 de *E. poeppigiana*; a2=nivel 2 de *A. mangium*; a1= nivel 1 de *A. mangium*

Valores con letras iguales en cada factor no mostraron diferencias significativas con la prueba de Tukey $p<0.05$

Cuadro A.3. Promedios de los porcentajes de eficiencia de absorción (EA) de N, Ca, Mg y K para los diferentes niveles de gramínea, mulch y asocio (efectos simples).

Nutriente	GRAMÍNEA		MULCH				ASOCIO	
	<i>P. maximum</i>	<i>B. humidicola</i>	e2	e1	a2	a1	Con	Sin
N	5.47a	4.77b	7.88a	8.88a	3.79b	3.79b	5.39a	4.85b
Ca	7.32a	2.03b	4.94b	4.19bc	1.09bc	13.16a	3.65b	5.70b
Mg	4.26b	6.85a	7.82a	7.69b	4.46a	7.81a	8.67a	2.44b
K	19.24a	21.77a	27.90a	26.81a	20.99a	26.81a	25.96a	15.05b

e2=nivel 2 de *E. poeppigiana*; e1=nivel 1 de *E. poeppigiana*; a2=nivel 2 de *A. mangium*; a1= nivel 1 de *A. mangium*

Valores con letras iguales en cada factor no mostraron diferencias significativas con la prueba de Tukey p<0.05