

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADO**

**Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies
arbóreas y dos gramíneas en pasturas de Muy Muy, Nicaragua**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación
para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Por


Isabel Esperanza Sandoval Arriola

Turrialba, Costa Rica, 2006

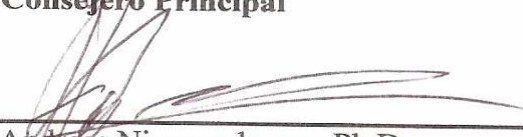
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

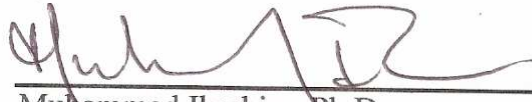
FIRMANTES:



John Beer, Ph.D.
Consejero Principal



Andreas Nieuwenhuyse, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero



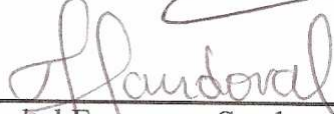
Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero



Amilcar Aguilar, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Isabel Esperanza Sandoval Arriola
Candidata

DEDICATORIA

A mi MADRE: Esperanza Arriola Jaime

Por haberme dado la vida, por el amor tan grande que me ha tenido siempre y por todos los sacrificios que ha hecho por mí.

A mi Padre Guillermo Sandoval

Por impulsarme siempre a buscar otras oportunidades.

A mi tía Elba María y Miguel Angel Soto

Por ser mis segundos padres y por apoyarme siempre.

A mi hermano: Eliezher Sandoval

Por ser mi amigo y el mejor hermano del mundo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a Dios por darme la oportunidad de cumplir una de mis metas. Por se tan bueno conmigo y siempre orientarme por el mejor camino.

A mis padres les agradezco por impulsarme siempre a ser una mejor persona.

A mis amigos, especialmente a Pedro y Dalia, por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi estadía acá y por motivarme a continuar. A Milton por su filosofía de vida, que me hizo reaccionar, a René por su ternura. A Lidia le agradezco por su sincera amistad y por compartir tanto los buenos como los malos momentos conmigo.

A John Beer por sus consejos y estímulo a seguir adelante.

Mi más sincero agradecimiento al Proyecto CATIE-NORUEGA-PD por la beca que me han dado y especialmente a Andreas Nieuwenhuyse. También agradezco a Danilo Pezo y Amilcar Aguilar por haberme dado el voto de confianza.

A los miembros de mi comité por sus asesorías, especialmente a Andreas Nieuwenhuyse por su apoyo constante en todo el proceso.

A Gustavo López por su enorme apoyo en una de las partes más importantes de mi trabajo.

A Melba Navarro y Marisol Amador por confiar en mí y apoyarme para seguir estudiando.

A Hanneke Haessman por su apoyo y amistad durante la etapa de campo.

A Don Francisco Valenzuela y su señora Sonia, a Freddy Lanzas y a su esposa Martha por ser mi apoyo constante en Muy Muy y por su sincera amistad.

BIOGRAFÍA

El autor nació en Granada, Nicaragua, el 3 de marzo de 1975. Se graduó en la Universidad EARTH en el 2000. Trabajó como extensionista agroforestal en el IPADE (Instituto para el Desarrollo y la Democracia) durante 3.5 años. Actualmente realizando una maestría en CATIE en Agroforestería Tropical.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
BIOGRAFÍA	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN	X
SUMMARY.....	XII
ÍNDICE DE CUADROS	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS	XVIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio.....	3
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.2 Hipótesis del estudio	3
2 MARCO CONCEPTUAL	4
2.1 Interacciones biofísicas en los sistemas silvopastoriles	4
2.2 Posibles mecanismos para reciclar nutrientes en sistemas silvopastoriles	5
2.2.1 <i>Fijación de Nitrógeno</i>	5
2.2.2 <i>Bombeo de nutrientes por árboles en sistemas silvopastoriles</i>	7
2.3 Reciclaje de nutrimentos vía hojarasca.....	8
2.4 Reciclaje de nutrientes a través de la pastura	11
2.5 Descomposición de la hojarasca.....	12
2.6 Factores que controlan la dinámica de la descomposición	13
2.6.1 <i>Factores intrínsecos que afectan la descomposición</i>	13
2.6.2 <i>Influencia de factores externos sobre la velocidad de descomposición</i>	16
2.7 Efecto del componente arbóreo sobre el suelo	17
2.7.1 <i>Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades biológicas del suelo</i>	17
2.7.2 <i>Efecto en la estructura del suelo</i>	17

2.8	Efecto del componente arbóreo sobre la producción de pastos.....	18
2.8.1	<i>Productividad de las pasturas</i>	18
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1	Descripción del área de estudio.....	22
3.1.1	<i>Topografía</i>	23
3.1.2	<i>1.1.3 Geología y Suelos</i>	23
3.1.3	<i>1.1.2 Clima</i>	24
3.1.4	<i>1.1.4 Actividades agropecuarias</i>	25
3.2	Criterios de selección y sistemas evaluados.....	26
3.2.1	<i>Criterios de selección de especies</i>	26
3.2.2	<i>Criterios para la selección de áreas experimentales</i>	29
3.2.3	<i>Caracterización de los árboles en estudio</i>	33
3.3	Muestreo y análisis de datos.....	33
3.3.1	<i>Inventario de las especies arbóreas</i>	33
3.3.2	<i>Muestreo y evaluación del aporte de hojarasca de árboles</i>	34
3.3.2.1	Medición de hojarasca de árboles con trampas circulares.....	34
3.3.2.2	Determinación de la distribución espacial de la hojarasca con trampas lineales.....	37
3.3.3	<i>Muestreo y evaluación del aporte de hojarasca de pastos</i>	37
3.3.4	<i>Muestreo de biomasa de pastos y composición botánica</i>	40
3.3.5	<i>Análisis químico de las muestras de hojarasca de árboles y pastos</i>	41
3.3.6	<i>Muestreo de la fertilidad del suelo</i>	41
3.4	Diseño experimental.....	42
3.4.1	<i>Muestreo de árboles</i>	42
3.4.2	<i>Análisis de la información</i>	43
3.4.2.1	Caracterización de los árboles de fincas.....	43
3.4.2.2	Hojarasca de árboles.....	44
3.4.2.2.1	Estimación de la producción de hojarasca de árboles.....	44
3.4.2.2.2	Análisis estadístico de la producción de hojarasca de árboles.....	45
3.4.2.3	Muestreo de biomasa de pastos y composición botánica.....	45
3.4.2.4	Aporte de hojarasca de pastos.....	46
3.4.2.5	Análisis del suelo.....	47
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48

4.1	Caracterización del componente arbóreo de las pasturas de Muy Muy.....	48
4.2	Distribución temporal de la producción de hojarasca de <i>G. ulmifolia</i> y <i>P. saman</i>	53
4.2.1	<i>P. saman</i>	53
4.2.2	<i>Guazuma ulmifolia</i>	56
4.3	Proporción de los distintos componentes de la hojarasca de <i>G. ulmifolia</i> y <i>P. saman</i> ...	58
4.4	Efecto de sitios en la producción de hojarasca.....	58
4.5	Efecto de las especies en la producción de hojarasca	59
4.6	Distribución espacial de la hojarasca trampas redondas.....	60
4.6.1	<i>Interacciones punto cardinal* posición</i>	60
4.6.2	<i>Interacción especie*punto cardinal</i>	62
4.6.3	<i>Interacción especie*posición</i>	63
4.7	Distribución espacial de la hojarasca observada en trampas lineales	64
4.7.1	<i>Pithecellobium saman</i>	65
4.7.2	<i>Distribución espacial de la hojarasca de Guazuma ulmifolia</i>	68
4.8	Correlaciones entre las variables dasométricas y la producción de hojarasca.....	72
4.9	Concentración de nutrientes en la hojarasca de de <i>P. saman</i> y <i>G. Ulmifolia</i>	73
4.10	Estimación del aporte total de hojarasca y de la cantidad de nutrientes	79
4.11	Biomasa aérea y producción de hojarasca de <i>B brizantha</i> y <i>P conjugatum</i>	82
4.11.1	<i>Disponibilidad de biomasa aérea de B. brizantha y P conjugatum en áreas sin influencia de los árboles</i>	82
4.11.2	<i>Producción de hojarasca de pasto</i>	86
4.11.3	<i>Estimación de la constante de descomposición</i>	93
4.11.4	<i>Nutrientes ciclados en la hojarasca de pasto</i>	95
4.11.4.1	<i>Brachiaria brizantha</i>	95
4.11.4.2	<i>Paspalum conjugatum</i>	96
4.11.4.3	<i>Comparaciones entre las especies</i>	98
4.11.4.4	<i>Translocación de nutrientes en B. brizantha y P. conjugatum</i>	99
4.11.5	<i>Estimación del aporte de nutrientes</i>	100
4.12	<i>Comparación de la producción de hojarasca de árboles y pasturas</i>	103
4.13	<i>Componentes que afectan la degradación de la hojarasca de especies arbóreas y pasturas</i>	108
4.14	<i>Fertilidad de suelos</i>	109

4.14.1	<i>Características físico-químicas de los Suelos con y sin influencia de árboles.....</i>	109
4.14.1.1	Interpretación de la fertilidad del suelo	114
4.15	Observaciones respecto a la metodología para evaluar hojarasca de árboles aislados y de pastos en sistemas silvopastoriles	115
4.16	Hojarasca de árboles.....	115
4.17	Hojarasca de pastos	116
5	CONCLUSIONES.....	118
6	RECOMENDACIONES	119
7	BIBLIOGRAFÍA.....	120
	ANEXOS	133

Sandoval Arriola, I.E. 2006. Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies arbóreas y dos gramíneas en pasturas de Muy Muy, Nicaragua.

Palabras claves: producción de hojarasca, reciclaje de nutrientes, distribución espacial de hojarasca, *Pithecellobium saman*, *Guazuma ulmifolia*, *Brachiaria brizantha*, *Paspalum conjugatum*.

RESUMEN

Se evaluó la cantidad de hojarasca y nutrientes que pueden reciclar los árboles (*Pithecellobium saman* y *Guazuma ulmifolia*) y los pastos naturales (*Paspalum conjugatum*) y mejorados (*Brachiaria brizantha*) asociados en sistemas silvopastoriles, para determinar su contribución al reciclaje de nutrientes. El estudio se realizó en fincas privadas de Muy Muy, Nicaragua; de diciembre del 2005 hasta agosto del 2006. Se estudiaron dos fincas, una con *B. brizantha* y otra con *P. conjugatum*. En cada una de ellas se evaluaron tres árboles de *P. saman* y tres de *G. ulmifolia*, con ocho trampas redondas de 1 m² por árbol, cuatro a mitad de copa y cuatro a tres metros afuera del borde de copa, siguiendo las direcciones de los puntos cardinales (N, S, E, O). Para la evaluación de la distribución espacial de la hojarasca se establecieron dos trampas largas alrededor de un árbol por especie; estas trampas estaban subdivididas en segmentos de aproximadamente dos metros de largo, y llegaban hasta 10 m después del borde de copa en los cuatro puntos cardinales. Además, se determinó la producción de hojarasca de los pastos acorde a la influencia de las dos especies arbóreas y en áreas fuera de copa. También se estimó la disponibilidad de las pasturas con el método “Botanal” y se comparó la fertilidad del suelo que estaba con y sin la influencia de los árboles. La producción de hojarasca (nueve meses) de *P. saman* era mayor a la de *G. ulmifolia* en ambas fincas (350 y 96 kg hojarasca árbol⁻¹, respectivamente). *P. saman* aportó mayor cantidad de nutrientes (8,6 kg de N, 0,4 kg P y 2,2 kg de K árbol⁻¹) que *G. ulmifolia* (1,3 kg de N, 0,2 kg de P y 1 kg de K árbol⁻¹). Los pastos aportan mucho mayor cantidad de hojarasca que los árboles: *B. brizantha* produce 13 ton ha⁻¹ y *P. conjugatum* 9 ton ha⁻¹. En cambio en estas mismas área la hojarasca de *P. saman* y de *G. ulmifolia* alcanza apenas el 608 kg ha⁻¹. Por lo tanto, el aporte de nutrientes a través de la hojarasca del pasto era mucho mayor a la de los árboles; en caso de N, los pastos aportaron entre 79 y 103 kg de N ha⁻¹ contra 10 y 13 kg de N ha⁻¹ de los árboles. Este bajo aporte de la hojarasca arbórea se debe a

las bajas densidades de árboles en las fincas (3,1 y 6,5 árboles ha⁻¹). Los componentes de la hojarasca de los árboles que están más influenciados por el viento son hojas y las flores; el 45% de las hojas de *P. saman* y el 62% de las de *G. ulmifolia* caían fuera de copa; en cambio, las ramas, frutos, epífitas tenían mayor influencia bajo de la copa de los árboles. Aunque no había diferencias significativas ($p>0,05$) entre la cantidad de nutrientes que se encontraban en el suelo que estaba influenciado por la copa de los árboles y fuera de la copa, los valores absolutos de nutrientes (no significativos) eran mayores bajo de la copa de los árboles. Al comparar los suelos influenciados por *P. saman* con los que están fuera de copa, se determinó que donde había influencia de la especie arbórea había mayor concentración de N (0,6 y 0,5% de N, respectivamente). En conclusión, en estos sistemas silvopastoriles que tuvieron baja densidad arbórea, los pastos aportaron mayor cantidad de hojarasca que los árboles. La distribución de la hojarasca de los árboles está altamente influenciada por el viento, siendo el oeste y el sur las posiciones que captan mayor cantidad de hojarasca (34 y 41%, respectivamente). *P. saman* es la especie arbórea que aporta mayor cantidad de N por metro cuadrado. En cambio *G. ulmifolia* fue la que aportó mayor cantidad de Ca, Mg, K y P por metro cuadrado. Los suelos bajo de la copa de los árboles muestran un incremento en los valores absolutos de nutrientes en comparación con áreas sin la influencia de los árboles. *P. conjugatum* aporta mayor cantidad de N por metro cuadrado que las especies arbóreas y que *B. brizantha*.

Sandoval Arriola, I.E. 2006. The production of leaf litter and nutrient recycling for two tree and two gramineae species in pastures in Muy Muy, Nicaragua.

Key words: production of leaf litter, nutrient recycling, spatial distribution, *Pithecellobium saman*, *Guazuma ulmifolia*, *Brachiaria brizantha*, *Paspalum conjugatum*.

SUMMARY

The quantity of leaf litter and the nutrients that trees (*Pithecellobium saman* and *Guazuma ulmifolia*), natural pastures (*Paspalum conjugatum*) and improved pastures (*Brachiaria brizantha*) in silvopastoral systems were evaluated to determine the contribution of each to nutrient recycling. This study was conducted on private farms in Muy Muy, Nicaragua from December, 2005 to August, 2006. Two farms were studied, one with *B. brizantha* and the other with *P. conjugatum*. On each farm, three *P. saman* and three *G. ulmifolia* trees were evaluated with eight 1 m² round traps per tree. Four traps were placed in the center of the canopy and four were placed three meters from the drip line of the canopy following the cardinal directions (N, S, E, W). To evaluate the spatial distribution of the leaf litter, two long traps were established around one tree per species; these traps were subdivided into approximately two meter long segments that ran 10 meters past the edge of the canopy in the four cardinal directions. Additionally, this study determined the leaf litter production for pastures influenced by the two tree species and in areas not under the tree canopies. Also, the availability of pastures was estimated with the “Botanal” method and fertility was compared for soils with and without the influence of the two trees. The production of the *P. saman* leaf litter (nine months) was greater than *G. ulmifolia* in both farms (350 and 96 kg leaf litter tree⁻¹, respectively). *P. saman* contributed greater amounts of nutrients (8.6 kg N, 0.4 kg P and 2.2 kg K tree⁻¹) than *G. ulmifolia* (1.3 kg N, 0.2 kg P, 1 kg K tree⁻¹). The pastures contributed much greater quantities of leaf litter than the trees: *B. brizantha* produced 13 tons ha⁻¹ and *P. conjugatum* 9 tons ha⁻¹. On the other hand, in the same areas, leaf litter for *P. saman* and *G. ulmifolia* barely reach 608 kg ha⁻¹. Thus, the contribution of nutrients from pasture leaf litter was much greater than from the trees; for N, the pastures supplied between 79 and 103 kg N ha⁻¹ compared to 10 and 13 kg N ha⁻¹ from the trees. These low contributions from tree leaf litter are due to the low density of trees on the

farms (3.1 and 6.5 trees ha⁻¹). The tree leaf litter components which are most influenced by the wind are leaves and flowers; 45% of the *P. saman* and 62% of the *G. ulmifolia* leaves fell past the drip line of the canopy; on the other hand, the branches, fruit and epiphytes had a greater influence under the tree canopies. Even though there were no significant differences ($p>0.05$) between the nutrient quantities that were found in the soils influenced by the tree canopy and the soils not under the canopy, the absolute values for the nutrients (not significant) were greater under the tree canopies. When comparing soils influenced by *P. saman* to those that are not under the canopy, it was determined that where there had been an influence of the tree species, there was a greater concentration of N (0.6 and 0.5% N, respectively). In conclusion, in these silvopastoral systems that had low tree densities, the pastures supplied greater quantities of leaf litter than the trees. The distribution of leaf litter from the trees was highly influenced by the wind, with the west and south positions capturing the greatest quantities of leaf litter (34 and 41%, respectively). *P. saman* is the tree species that produced the greatest quantity of N per square meter. However, *G. ulmifolia* contributed the greatest quantities of Ca, Mg, K and P per square meter. The soils under the tree canopies showed an increase in the absolute values for the nutrients compared to the areas not influenced by trees. *P. conjugatum* contributed more N per square meter than the tree species and than *B. brizantha*.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los suelos de los potreros experimentales en Muy Muy, Nicaragua.....	24
Cuadro 2 . Caracterización de la cobertura arbórea de las fincas de Muy Muy acorde a las especies de mayor representatividad en los potreros.	28
Cuadro 3. Características generales de las fincas ganaderas del Municipio de Muy Muy, Nicaragua, y de las fincas escogidas para el estudio.	31
Cuadro 4. Características dasométricas de los árboles estudiados en las fincas de Muy Muy, Nicaragua.....	33
Cuadro 5. Cantidad de árboles con DAP > 10 cm por especie en el potrero estudiado de 9,0 ha en La Hacienda La Estrella, Muy Muy, Nicaragua.	48
Cuadro 6. Cantidad de árboles con DAP > 10 cm por especie en el potrero estudiado de 5,1 ha de la finca Los Diamantes, Muy Muy, Nicaragua.	49
Cuadro 7. Características dasométricas de los árboles de interés en dos fincas de Muy Muy.....	50
Cuadro 8. Promedio de producción de hojarasca por componente de seis árboles de <i>Pithecellobium saman</i> en dos fincas en Muy Muy, Nicaragua.	55
Cuadro 9. Promedio de producción de hojarasca por componente de seis árboles de <i>Guazuma ulmifolia</i> en dos fincas en Muy Muy, Nicaragua.....	57
Cuadro 10. Producción de hojarasca en las dos fincas en el periodo de nueve meses por componente y por punto cardinal.....	63
Cuadro 11. Distribución espacial de la hojarasca de <i>Pithecellobium saman</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> en potreros de Muy Muy, Nicaragua.....	69
Cuadro 12. Correlaciones entre la producción de hojarasca y características dasométricas de los árboles.....	73
Cuadro 13. Concentración promedio (% de peso seco) de nutrientes en los diferentes componentes de la hojarasca de <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Pithecellobium saman</i> recolectadas en forma mensual entre diciembre 2005 y agosto 2006.....	74

Cuadro14 . Concentración de nutrientes en la hoja de Guazuma ulmifolia y Pithecellobium saman en diferentes etapas fenológicas.....	78
Cuadro 15. Estimación del aporte de hojarasca y nutrientes de Guazuma ulmifolia y Pithecellobium saman en dos fincas de Muy Muy, Nicaragua.	80
Cuadro 16. Medias de hojarasca existente y depositada en dos especies de pastos acorde a la época y especie.....	91
Cuadro 17. Concentración (%) de nutrientes en la hojarasca de Brachiaria brizantha y Paspalum conjugatum en Muy Muy, Nicaragua.....	98
Cuadro 18. Producción de hojarasca de pasto y cantidad de nutrientes aportados de diciembre 2005 a agosto 2006.....	101
Cuadro 19. Producción de hojarasca de pastos naturales y mejorados.....	102
Cuadro 20. Producción de hojarasca de árboles y pastos y aporte de nutrientes durante el 2006 en sistemas silvopastoriles de Muy Muy, Nicaragua.....	103
Cuadro 21 . Deposición de hojarasca de las especies arbóreas y las pasturas.	106
Cuadro 22. Aporte de N de las especies arbóreas y de los pastos en Muy Muy, Nicaragua.....	107
Cuadro 23. Aporte de nutrientes de las especies arbóreas y de los pastos en Muy Muy, Nicaragua.....	108
Cuadro 24 . compuestos secundarios y digestibilidad en especies de árboles y pastos	109
Cuadro 25. Características químicas de los suelos de dos fincas de Muy Muy.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del Municipio de Muy, Muy, Departamento de Matagalpa, Nicaragua.....	22
Figura 2. Distribución de la precipitación en Muy Muy de noviembre 2005 a julio 2006.	25
Figura 3. Diagrama para la toma de muestras por árbol.....	35
Figura 4. Trampas circulares para la recolección de hojarasca.....	36
Figura 5. Distribución de árboles en La Estrella.....	51
Figura 6. Distribución de árboles en La Estrella.....	52
Figura 7. Producción de hojarasca total de Guazuma ulmifolia y Pithecellobium saman en 2006 en dos fincas de Muy Muy, Nicaragua.	55
Figura 8. Producción de los distintos componentes de la hojarasca de Guazuma ulmifolia y Pithecellobium saman.	60
Figura 9. Distribución de hojas de Pithecellobium saman con respecto al tallo.....	66
Figura 10. Distribución de la hojarasca de Pithecellobium saman por componente.	67
Figura 11. Distribución espacial de hojas de Guazuma ulmifolia con respecto al tallo.	68
Figura 12. Estimación de la distribución espacial de la hojarasca de Guazuma ulmifolia por componente.	70
Figura 13. Productividad de pasto mejorado y naturalizado en 2006 en Muy Muy, Nicaragua.....	83
Figura 14. Comparación de productividad de hojarasca existente en Brachiaria brizantha y Paspalum conjugatum en 2006 en Muy Muy, Nicaragua.....	86
Figura 15. Hojarasca existente de dos especies de pasturas, fuera de la influencia de los árboles y bajo influencia de ellos, en 2005 y 2006 en Muy Muy, Nicaragua.....	88
Figura 16. Tasa de descomposición acorde a la especie de la hojarasca de Brachiaria brizantha y de Paspalum conjugatum en dos épocas (2006) en Muy Muy, Nicaragua.....	93

Figura 17. Constante de descomposición acorde a la posición en *Brachiaria*
brizantha y *Paspalum conjugatum* en Muy Muy, Nicaragua.94

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

DAP: diámetro a la altura del pecho.

PC: proteína cruda.

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

NT: nitrógeno total.

MS: materia seca.

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas cuatro décadas la deforestación en Latinoamérica ha sido uno de los principales problemas causantes de la degradación ambiental. La mayor parte del área deforestada ha sido usada para ganadería ya sea por un relevo directo del bosque o después de haber sido usada para cultivos anuales (Botero 1999). Estos suelos pueden ser fértiles durante los primeros años después de que el bosque ha sido talado y quemado, pero al poco tiempo se vuelven infértiles y bajan su productividad por haber perdido el equilibrio natural (p.e. reciclaje de nutrientes), o bien por el mal manejo que se le da a estas áreas, al implementar prácticas productivas que no apuntan a la restitución de nutrientes (introducción de especies no adaptadas, quemas, sobre pastoreo, falta de fertilización), lo que deteriora a las pasturas (Giraldo y Bolívar 1999; Pezo e Ibrahim 1999). Se estima que alrededor del 50% de las pasturas en Centroamérica se encuentran en un grado avanzado de degradación (Szott et al. 2000).

Debido a la drástica disminución de la población de árboles en las áreas ganaderas, se estima que se ha reducido el reciclaje natural de los nutrientes y las áreas de sombreado (Iriando *et al.* 1998). Esto repercute directamente en la disminución de la productividad, el aumento de los costos de producción y provoca mayor presión sobre el medio ambiente, especialmente porque los productores una vez que ven agotados los recursos naturales en las áreas deforestadas buscan como expandirse a nuevas áreas, derribando más bosque para conseguirlo (Giraldo y Bolívar 1999; Ramos 2003). Se calcula que el área centroamericana bajo pasturas se incrementó de 3.5 millones en 1950 a 13.5 millones de hectáreas en 1995 (300% de incremento), y el número de cabezas de ganado pasó de 4.2 millones a 9.6 millones (incremento de más del 100%) durante el mismo período (Kaimowitz 1996).

En la actualidad existe gran preocupación por los problemas ambientales, debido a que los impactos en los recursos naturales se están sintiendo cada día con mayor intensidad y se está ejerciendo una mayor presión por las pocas áreas de bosque aún presentes, debido a que se necesita satisfacer las demandas de la población creciente. Al incrementar la presión sobre los recursos naturales se disminuye la posibilidad de continuar aprovechándolos en el futuro. Es por eso, que se hace necesaria la implementación de modelos de desarrollo sostenibles (Abarca 1997), que sean económicamente competitivos y atractivos para el productor, para

prevenir el acelerado ritmo de la deforestación y disminuir las extensas áreas de pasturas degradadas (Giraldo 1998). En este contexto, se han desarrollado tecnologías agropecuarias más sostenibles, como los sistemas silvopastoriles, los cuales promueven la conservación de los recursos naturales y la recuperación de agroecosistemas degradados por el mal manejo (Botero 1999).

Dentro de las supuestas ventajas que brindan la presencia de árboles en las pasturas están la producción de forraje de buena calidad para los animales (especialmente en el caso de especies leguminosas), el mejoramiento de la fertilidad de los suelos y la disminución del estrés calórico en los animales. Además, son importantes porque diversifican la producción de las fincas con productos como leña, madera, frutos, lo cual les permite a los productores generar otros ingresos, dándole mayor estabilidad económica (Giraldo y Bolívar 1999).

A pesar de que en la literatura se reportan los beneficios que traen los árboles a los sistemas agroforestales con el reciclaje de nutrientes y las mejoras correspondientes postuladas respecto a la productividad, aún existen muchas interrogantes porque la contribución de los árboles al sistema no ha sido suficientemente cuantificada (Giraldo *et al.* 1995). En consecuencia, es necesario que las futuras investigaciones se enfoquen en el análisis de los mecanismos con los cuales los árboles influyen sobre el suelo en diferentes ecozonas del trópico (deposición y descomposición de hojarasca y aporte de nutrientes reciclados, simbiosis, interacción con fauna y flora del suelo, interacción raíz-suelo, entre otros). Además, es preciso determinar la eficiencia de los árboles en el mantenimiento o la recuperación de la fertilidad, el mejoramiento de la estructura del suelo y su impacto sobre los organismos del suelo (Ibrahim *et al.* 1999). Esto debido a que el conocimiento sobre el reciclaje de nutrientes en el suelo y los procesos de la descomposición de la hojarasca de los árboles es de gran importancia para el manejo de sistemas integrados y sostenibles.

Es por eso que este estudio pretende determinar las combinaciones de especies arbóreas y de pastos que aportan más nutrientes en los sistemas silvopastoriles y que pueden contribuir a conservar la fertilidad de estas áreas además de mantener la calidad de las pasturas. Todo esto con el objetivo de conseguir sistemas de producción sostenibles que puedan soportar la ganadería sin necesidad de expandirse a más áreas, evitando así la degradación de los recursos naturales.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la cantidad de nutrientes en la hojarasca de los árboles de genízaro (*Pithecellobium saman*) y guácimo (*Guazuma ulmifolia*), y de los pastos naturales y mejorados asociados en sistemas silvopastoriles, para determinar la contribución relativa y potencial de los árboles y los pastos al reciclaje de nutrientes al suelo.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✚ Evaluar la cantidad de biomasa y nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) que puede aportar la hojarasca de *P. saman* y *G. ulmifolia*, en cuanto a su distribución espacial y temporal.
- ✚ Evaluar la cantidad de biomasa y de nutrientes que puede aportar la hojarasca de pastos mejorados y naturales que se encuentran bajo la influencia de *P. saman* y *G. ulmifolia* y a pleno sol.
- ✚ Comparar la fertilidad del suelo que está influenciado directamente por la copa de los árboles con suelos bajo pasturas que no tienen aporte de hojarasca arbórea.

1.2 Hipótesis del estudio

- ✚ El aporte de nutrientes en la hojarasca de *P. saman* en sistemas silvopastoriles es mayor que el de *G. ulmifolia*.
- ✚ El aporte de nutrientes en la hojarasca de *Brachiaria brizantha* en sistemas silvopastoriles es mayor que el de *Paspalum conjugatum*.
- ✚ La hojarasca de los pastos aporta más nutrientes que la hojarasca de los árboles.
- ✚ Los árboles y las pasturas a través de su hojarasca reciclan nutrientes en diferentes cantidades y proporciones.
- ✚ La fertilidad del suelo en áreas influenciadas por las copas de *P. saman* o *G. ulmifolia* árboles es mayor que en las pasturas que están a pleno sol.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Interacciones biofísicas en los sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles son formas de producción en la que los árboles o arbustos se combinan con pastos y ganado en una misma unidad de tierra (Nair 1997). Como resultado de esta asociación deliberada se dan interacciones ecológicas y/o económicas entre sus componentes. Estas combinaciones pueden ser simultáneas o secuenciales y tienen como objetivo optimizar la producción del sistema y procurar un rendimiento sostenido (Combe y Budowski 1979).

En la literatura se asegura que un manejo exitoso de los sistemas silvopastoriles podrá alcanzarse si se logra introducir o conservar especies arbóreas (leguminosas o maderables) que ayuden a mantener el equilibrio en estos sistemas y que fomenten el reciclaje de nutrientes. Se supone que estos árboles contribuyen al mejoramiento de la fertilidad del suelo y a la producción estable de las pasturas (Pezo e Ibrahim 1999).

Para establecer un buen sistema silvopastoril (garantizar el éxito de la producción del sistema) es necesario determinar las especies apropiadas tanto de árboles como de pastos a introducir, (Hernández y Russell 2001). La magnitud de las interacciones entre las leñosas perennes y las pasturas depende de: 1) la disponibilidad de agua, luz y nutrientes del sistema (características del sitio); 2) las necesidades específicas y las características morfológicas de los componentes; y 3) densidad de plantas, su arreglo espacial y el manejo que se les da, tanto a los árboles y pastos como a los animales (Pezo e Ibrahim 1999).

En los sistemas silvopastoriles los árboles y arbustos juegan un papel importante debido a que proporcionan sombra, alimentos ricos en proteínas y minerales para los animales y porque podrían mejorar el reciclaje de nutrientes, la estructura física y biológica de los suelos, provocando un incremento de la productividad y el valor nutritivo de muchas especies de pastos (Hernández y Sánchez 1998). El fomento de un reciclaje de nutrientes más eficiente en sistemas silvopastoriles sería un mecanismo eficaz para prevenir una pérdida rápida del potencial productivo del pasto. La literatura reporta que el aporte de nutrientes es proporcional

a la cantidad de biomasa aérea producida y que puede verse afectado por la capacidad de retención de las hojas que posee la planta (Pezo e Ibrahim 1999).

2.2 Posibles mecanismos para reciclar nutrientes en sistemas silvopastoriles

Dado que la poda no es común, el reciclaje de nutrimentos en los sistemas silvopastoriles ocurre principalmente cuando se da la muerte de las raíces, la senescencia y caída natural de la biomasa aérea, tanto de árboles como de las pasturas. También, se da a través del material podado que queda en el campo y las excretas que depositan los animales en los potreros (Pezo e Ibrahim 1999). Los mecanismos a través de los cuales los árboles de los sistemas silvopastoriles contribuyen al mejoramiento de la fertilidad de los suelos incluyen: la fijación de nitrógeno (dada principalmente por las leguminosas); el reciclaje de nutrimentos (deposición y descomposición de hojarasca); el bombeo y la mejora en la eficiencia del uso de nutrientes; el mantenimiento de la materia orgánica; y el control de la erosión (Nair 1997). El efecto de todo este conjunto de mecanismos es lo que provoca mejoras en la productividad del suelo, el cual puede ser en ocasiones tan fuerte que sobrepasa las pérdidas en rendimiento de la pastura ocasionada por el sombreadamiento (Pezo e Ibrahim 1999).

Por otro lado, los animales juegan un papel importante en cuanto al reciclaje de nutrientes en los sistemas silvopastoriles, debido a que a través de las excretas (heces y orina) retoman gran cantidad de los nutrientes que ellos consumen; estimándose que pueden reciclar entre 75 y 85% de los nutrientes que consumieron en el forraje (Bellows 2001). Asimismo, Boddey *et al.* (2004) demostró que el N exportado en peso vivo por el ganado fue bajo, en un rango entre 7.3 a 8.6 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, el cual representa entre el 5.5 y el 7.8% de todo el N consumido por las vacas; y que el N depositado en heces era de 37 kg ha⁻¹ año⁻¹ y este aumentaba a 59 kg ha⁻¹ año⁻¹ cuando se aumentaba la carga animal de 2 a 4 UA ha⁻¹.

2.2.1 Fijación de Nitrógeno

Aunque el 78% del aire está compuesto por nitrógeno (N₂), este no está disponible para que las plantas puedan aprovecharlo directamente. Sin embargo, una forma por medio del cual estas lo pueden utilizar es mediante la acción de microorganismos que se asocian con ellas. Por ejemplo, la mayoría de las leguminosas forman una relación simbiótica con unas bacterias

que pertenecen al género *Rhizobium*, las cuales tienen la habilidad de fijar o transformar N atmosférico a formas que las plantas pueden aprovechar para su desarrollo. La cantidad de N que se puede llegar a agregar en los suelos por la fijación simbiótica dependen de varios factores, entre los cuales se encuentran: la especie de leguminosa, la clase de suelo, pH, contenido de nutrientes (especialmente N, P, Ca, B y Mo); materia orgánica; la efectividad de las bacterias, humedad en el suelo; y cantidad de carbohidratos que las plantas les aportan a las bacterias, los cuales pueden verse afectados por condiciones ambientales adversas. Además, influye el manejo que se da en el sitio (control de plagas, prácticas fitosanitarias y fertilización) (Foth 1992; Henríquez y Cabalceta 1999). De forma general, se calcula que rodales de árboles leguminosos, pueden llegar a fijar entre 100 y 200 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Kass 1998).

Sin embargo, el N fijado por las leguminosas está disponible en primer lugar para las mismas plantas, mientras ellas crecen. Es hasta que las raíces, los nódulos, tallos y las hojas mueren y se descomponen que lo hacen disponible para las pasturas (Bellows 2001). En este sentido, hay que tener mucho cuidado con el manejo que se le da a los árboles leguminosos, ya que las podas frecuentes pueden afectar la fijación simbiótica de N (Hernández y Russell 2001).

Con el objetivo de evaluar el efecto de los árboles sobre el pasto, Bolívar (1998) realizó un estudio sobre la contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y encontró que las pasturas que crecían bajo sistemas silvopastoriles tenían un 45% más de N foliar que las pasturas en monocultivo. Concluyó que en su sitio de estudio la sombra aumentaba la humedad, la cual favoreció el incremento de la actividad biológica y estimula el desarrollo de micorrizas y organismos nitrofixadores en la rizosfera, los cuales transforman formas de N no disponibles para las plantas a compuestos que ellas pueden absorber. Por otro lado, el aumento en las concentraciones de N se debe a que en esas áreas ocurren menores pérdidas de N por volatilización, lo que permite un mejor aprovechamiento de este nutriente por parte del pasto (Crespo *et al.* 1999). Otra razón, puede ser porque la pastura crece menos y como consecuencia, la misma cantidad de N representa un porcentaje mayor en la biomasa. Sin embargo, es importante mencionar que a pesar de que

en este experimento se notó la disminución de N en el suelo a medida que se alejaba de los árboles, no se halló diferencias significativas.

Así mismo, Menezes *et al.* (2002) encontró que la cantidad de nutrientes en el pasto (*Cenchrus ciliaris*) que se encuentra bajo los árboles *Ziziphus joazeiro* y *Prosopis juliflora* es mayor que en la pastura en monocultivo. El total de N mineralizado en la capa superior del suelo era de 1.3 a 2.2 veces más alta bajo la copa de los árboles que en la pastura en monocultivo. La concentración de este elemento fue significativamente más alta en los tejidos de la pasturas en sistemas silvopastoriles; 18.0 mg g⁻¹ en comparación con los 13.3 mg g⁻¹ de las pasturas en monocultivo.

Sin embargo, es importante recalcar que no solo las leguminosas establecen relaciones simbióticas con los microorganismos fijadores de N atmosférico. También, existen algunas especies de algas azules y verdes y bacterias libres capaces de transformar nitrógeno atmosférico y hacerlo disponible para las plantas. Una de estas son las *azotobacter*, las cuales son bacterias que tienen la capacidad de fijar N, llegando a fijar entre 5 y 10 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ (Fassbender 1993). Además, los árboles pueden formar relaciones con micorrizas u otros tipos de hongos que juegan un rol importante en la movilización de nutrimentos, mediante el cual se aumenta la disponibilidad de P, K, Ca, N y Mg. Estos procesos simbióticos de fijación y/o captación de nutrientes son trascendentales debido a que hacen disponibles una mayor cantidad de elementos minerales para el sistema (Russo y Botero 1999).

2.2.2 Bombeo de nutrientes por árboles en sistemas silvopastoriles

El reciclaje de nutrientes podría incrementar con la presencia de especies arbóreas, debido a que en algunos casos estos tienen el sistema radical más profundo que las gramíneas, lo que les permite movilizar los nutrientes desde las capas más profundas del suelo e incorporarlos a la superficie a través de la hojarasca (Hernández y Sánchez 1998).

Esta situación se confirmó en un experimento realizado en un sistema silvopastoril de *Cenchrus ciliaris* asociado con los árboles de *Ziziphus joazeiro* y *Prosopis juliflora*, donde encontraron que la concentración de K, Ca y Mg en el suelo debajo de las copas de estos árboles era mayor (15.7, 23.3 y 6.7 mmol (+) kg suelo⁻¹, respectivamente) en comparación

con *Cenchrus ciliaris* en monocultivo de (6.3, 9.3 y 1.6, mmol (+) kg suelo⁻¹, respectivamente) (Menezes *et al.* 2002).

Así mismo, Velasco (1998) realizó un estudio con monocultivo de *Brachiaria humidicola* (Nd) y el sistema silvopastoril de *Acacia mangium* a baja densidad (120 árboles ha⁻¹ [Bd]) y a alta densidad (240 árboles ha⁻¹ [Ad]), encontrando que el P total en el suelo a una profundidad de 15 cm fue significativamente mayor en Ad (292 mg l⁻¹) que en Bd (253 mg l⁻¹) y Nd (232 mg l⁻¹). El autor concluyó que este incremento en la concentración de P total en el suelo se debe al aumento de la población de micorrizas. Además, encontró que el contenido de Mn en el suelo bajo la copa de *A. mangium* era mayor que fuera de la copa y que en monocultivo (828, 283 y 88 mg l⁻¹, respectivamente).

De la misma forma, un estudio realizado en las sabanas de Kenya por Belsky *et al.* (1993) encontraron que los árboles aislados de *Acacia tortilis* y *Adansonia digitata* producían cambios en las propiedades químicas de los suelos, de tal manera que bajo las copas y en áreas adyacentes a estas había mayor concentración de P, K y Ca que en sitios que no estaban influenciados por la hojarasca de estas especies.

Sin embargo, el bombeo no ocurre bajo todas las condiciones, ya que depende de las características del sitio, de la morfología radicular de las especies, el material usado para el establecimiento de las leñosas perennes y la frecuencia de podas, ya que está comprobado que el establecimiento por estacas y las podas más frecuentes los sistemas radiculares son más superficiales, con lo que se puede producir más bien una competencia por nutrientes y agua con las pasturas (Pezo e Ibrahim 1999).

2.3 Reciclaje de nutrientes vía hojarasca

La biomasa representa la principal fuente de nutrientes en el sitio; por eso, para entender mejor los procesos de circulación de nutrientes se debe de conocer la biomasa del ecosistema en un área determinada. Por ello es importante conocer la producción primaria neta (PPN) de cada sistema; esta es la cantidad de materia orgánica fijada por fotosíntesis (productividad primaria bruta) menos las pérdidas que conlleva la respiración. Esta se puede

estimar calculando la cantidad de biomasa aérea y de las raíces que se acumula en un lapso de tiempo determinado. Los valores de PPN promedio en los bosques tropicales alcanzan los 22000 kg ha⁻¹ año⁻¹; el bosque semicaducifolio tropical 16000 kg ha⁻¹ año⁻¹ y los pastizales templados 6000 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Montagnini y Jordan 2002); las pasturas tropicales naturales pueden llegar a producir 5 329 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Nahed *et al.* 2001). Gran parte de este material es circulado dentro de los ecosistemas y es vital para mantener la sostenibilidad del sistema.

El proceso de reciclaje de nutrientes inicia con la senescencia, durante la cual se da el desmantelamiento celular. Este comienza con la redistribución de los nutrientes, durante la cual los cloroplastos se desbaratan y se da la exportación de los minerales (N, P, K, entre otros) a otros órganos y termina con la abscisión y desprendimiento del tejido (Guiamet 2004). Esto se da por la acción de enzimas, coenzimas y clorofilas; es por ello que ocurre un cambio de color (de verde a amarillo) (Fassbender 1993).

La caída constante de hojas, frutos, ramas y la mortalidad de las raíces (especialmente las finas) constituyen un aporte constante de materia orgánica y nutrientes al suelo, los cuales después de ser descompuestos y mineralizados pueden ser aprovechados por las pasturas. Asimismo, es importante resaltar que también los pastos producen hojarasca, la cual participa en los procesos de reciclaje de nutrimentos dentro del sistema. Sin embargo, cabe recalcar que la extracción de nutrientes, descomposición y acumulación es lenta y que la cantidad de materia orgánica acumulada en los sistemas silvopastoriles depende del equilibrio entre estos procesos (Russo y Botero 1999). La cantidad de nutrientes que pueda liberarse a través de la hojarasca está determinado por las características de las especies de plantas que están en el sistema, su composición química, parte de la que proviene (hoja, rama, fruto, tallo), de la posición en la que se encuentra, por la edad del material; las condiciones edafoclimáticas, el manejo (podas, fertilizaciones, la intensidad del pastoreo) y la actividad de la flora y fauna edáfica que interviene en los procesos de descomposición (Fassbender 1993; Palm 1995; Crespo y Pérez 2000).

Dentro de este contexto, las diferentes especies de pasturas y árboles difieren en cuanto a la cantidad y calidad de hojarasca que producen y por lo tanto en cuanto a su habilidad para

reciclar nutrientes. Por ejemplo, en un estudio realizado en Colombia evaluando la producción de hojarasca en pastos y leguminosas, encontraron que *Brachiaria decumbes*, *Cynodon nlemfuensis* y *Pueraria phaseoloides* producen 632, 362 y 429 g MS m⁻² respectivamente (Crespo y Pérez 2000). Por otro lado, el tipo de árbol influye debido a que las especies tienen distintas concentraciones de nutrientes en sus tejidos. Por ejemplo se reporta que las leguminosas tienen las más altas concentraciones de nutrientes (Jamaludheen y Kumar 1999). En concordancia con lo expuesto anteriormente, Giraldo *et al.* (1995) reportan que *Calliandra calothyrsus* (leguminosa) aporta más N que *Guazuma ulmifolia* (Sterculiaceae) (42 y 36 kg de N ha⁻¹, respectivamente). Por lo tanto, la cantidad de nutrientes reciclados está en dependencia de las combinaciones de pastos y árboles que se tengan en los sistemas silvopastoriles y la composición química de estas especies.

Asimismo, el tipo de tejido determina la cantidad de nutrientes a aportar, debido a que la concentración de elementos minerales es más rica en las hojas, luego en las ramas, tallos y raíces (Fassbender 1993). Por otro lado, la edad y condición de estos materiales también influye, debido a que la cantidad de nutrientes en la hojarasca (material viejo) es menor que la del material fresco (podado). Esto se debe a que las plantas traslocan o reabsorben nutrientes antes de la abscisión de las hojas, especialmente K, N, Zn y P (Mafongoya 1998; Schroth 2003). También se ha expuesto que el aporte de nutrientes depende del tipo de planta (caducifolia o perennifolia), porque las hojas de las caducifolias tienen mayor concentración de N que las perennifolias. Sin embargo, existen opiniones encontradas que contradicen lo anteriormente expuesto. Villela y Proctor (1999) encontraron que las concentraciones de N en *Peltogyne gracilipes* (árbol caducifolio), eran similares a las encontradas en los otros árboles perennifolios.

Igualmente, las especies difieren en la cantidad de nutrientes que aportan vía hojarasca, debido a que ellas tienen distintos grados de reabsorción. Estas diferencias reflejan las variaciones en las respuestas ecofisiológicas de cada especie a las condiciones edafoclimáticas. Además, existen otros factores que aceleran la caída de las hojas y con ello disminuyen la reabsorción; estos son el viento y la lluvia excesiva. Villela y Proctor (1999) encontraron que alrededor del 25 y 41% de K se trasloca en las hojas de *Peltogyne gracilipes* durante la época lluviosa y seca, respectivamente, mientras que el Mg solamente recircula el

13 y 2% durante lluvia y verano. Acorde a Negi y Singh (1993) en un estudio realizado en 26 perenenifolios y caducifolios de Kumaun Himalaya, las hojas pueden reabsorber entre el 32.7 y el 75.3% de N durante el proceso de senescencia. Para estimar la traslocación de nutrientes se deben de calcular las relaciones N/Ca y P/Ca, por considerarse que cuando el material vegetal esta totalmente senescente la concentración Ca aumenta porque incrementa su proporción en el tejido vegetal cuando los otros elementos se han movido a los nuevos tejidos (Cuevas y Lugo 1998).

Los procesos de reabsorción de nutrientes son más eficientes cuando las plantas están sometidas a algún tipo de estrés (suelos infértiles, sequías). Esta puede considerarse como una estrategia de supervivencia, para conservar la mayor cantidad de nutrientes cuando están atravesando por un periodo crítico que puede afectarlas negativamente. Por ejemplo se ha encontrado que las concentraciones de N en la hojarasca eran menores en la época seca que en el resto del periodo de evaluación (Jamaludheen y Kumar 1999). Por otro lado, los factores climáticos tienen mucha influencia en la cantidad de hojarasca que se produce. Con la lluvia se promueve el desarrollo de las plantas con lo que se produce mayor cantidad de hojarasca (Fassbender 1993).

2.4 Reciclaje de nutrientes a través de la pastura

Las pasturas son subutilizadas, estimándose que de la biomasa aérea total que producen los pastos, los animales llegan a aprovechar solamente una parte de ella, entre el 10 y el 40% (Thomas 1992). Por lo tanto, en magnitud es mayor el aporte de nutrientes que se da por parte del material senescente que el que se da vía excretas de animales (Thomas y Asawaka 1993).

El pasto que no es consumido por los animales se convierte con el tiempo en hojarasca; al caer esta de las plantas e incorporarse al suelo empieza a sufrir los procesos de descomposición hasta convertirse en materia orgánica del suelo. Por lo tanto, la cantidad de hojarasca de la pastura es resultado de los procesos de acumulación y descomposición; los cuales van a estar directamente afectados por los factores que tienen influencia en el desarrollo de los pastos, tales como la fertilidad de los suelos, clima, especies, y presión de pastoreo. Además, se ven influidos por los microorganismos descomponedores (Bruce y Ebersohn 1982).

Altos niveles de acumulación de hojarasca del pasto es un indicador del uso ineficiente del forraje que se produce y puede tener un efecto negativo en el desarrollo posterior de la pastura. Por otro lado, cuando la hojarasca se descompone rápidamente se ponen a disposición inmediata los nutrientes en el suelo y el pasto puede reincorporarlos nuevamente (Bruce y Ebersohn 1982).

Para hacer que el sistema funcione mejor y el reciclaje de nutrientes sea eficiente se necesita conocer bien cada uno de los elementos (especies) que los componen; es decir, se debe de saber cuales especies se deben combinar, debido a que se necesitan en el mismo espacio plantas que tengan distintas tasas de descomposición (rápida, mediana y lenta) para asegurar un flujo constante de nutrientes y evitar las pérdidas (Thomas y Asawaka 1993).

2.5 Descomposición de la hojarasca

El proceso de descomposición se da en varias etapas. La primera implica una reducción del material senescente a partes más pequeñas. Esta fase está mediada principalmente por invertebrados, los cuales crean un ambiente favorable para que los hongos y bacterias continúen con la degradación bioquímica de los tejidos, mediante la segregación de enzimas y jugos digestivos, los cuales descomponen a los compuestos orgánicos y permiten la liberación de los nutrientes (Fassbender y Bornemisza 1987; Bellows 2001; Reynolds y Reynolds y Hunter 2001).

Por lo tanto, la circulación de nutrientes en el sistema implica conversiones, transformaciones e intercambios, entre organismos vivos y la parte inerte del ecosistema. Estos dependen de dos procesos fundamentales, la mineralización (conversión de nutrientes que están en la materia orgánica a elementos inorgánicos) e inmovilización (paso de iones a formar parte de los organismos) (Foth 1992).

Después que se da la liberación de los nutrientes, estos pasan a la solución del suelo, donde existen dos posibilidades: una es de que sean absorbidos por las plantas y los usen para

su desarrollo y otra es que pueden perderse a través de los procesos físicos (lixiviación, erosión), químicos (volatilización), biológico (desnitrificación) (Fassbender 1993; Montagnini *et al.* 1999). Del total de material añadido, se estima que solamente el 20% puede ser inmediatamente usado por las plantas. El resto permanece en el suelo por largos periodos, los cuales también llegarán en un momento a estar disponibles para los cultivos; es por eso que se dice que esta práctica trae beneficios a largo plazo (Palm 1995).

2.6 Factores que controlan la dinámica de la descomposición

2.6.1 Factores intrínsecos que afectan la descomposición

Los componentes orgánicos de los restos vegetales y animales son los carbohidratos, grasas, ligninas, proteínas, polipéptidos, ácidos nucleicos, pigmentos, alcaloides y hormonas (Fassbender 1993; Kogel-Knabner 2002), cada uno de los cuales tienen distintas tasas de degradación. Los primeros que se desaparecen son los que contienen mucha energía (carbohidratos solubles), porque son los que usan de primero los microorganismos para sus actividades, seguido de los polisacáridos, celulosa, hemicelulosa y los últimos en descomponerse son los más recalcitrantes (lignina) (Palm 1995).

En consecuencia, la calidad del material orgánico depende en parte de la proporción que tenga de compuestos fácilmente degradables y de recalcitrantes o difíciles de descomponer (Lehmann *et al.* 1995; Mafongoya *et al.* 1998). Por lo que la tasa de desaparición es mayor en hojarasca que son ricas en nutrientes y carbohidratos solubles; y reducida cuando se presenta mayor cantidad de lignina y polifenoles, porque les cuesta más a los descomponedores desintegrarlas. Es por esta razón que los materiales más jóvenes se descomponen rápidamente que viejos porque estos tienen menor cantidad de lignina (Berg 2000; Trofymow *et al.* 2002).

Debido a que los materiales vegetales tienen diferente composición y calidad, se hace difícil pronosticar los patrones de descomposición en los sistemas agroforestales (Mafongoya *et al.* 1998). Para determinar cuáles son los mejores índices para predecir la descomposición de la hojarasca se han realizado muchas investigaciones; no obstante, existen opiniones encontradas. Sin embargo, han concluido que las tasas de degradación y el ciclaje de

nutrientes que se da por esta vía, dependen de las propiedades químicas del material vegetal, especialmente la concentración inicial de N y P. De esta manera, los materiales que tienen más de 20 mg de N g⁻¹ de y de 2.5 mg de P g⁻¹ se les considerada de alta calidad por favorecer la degradación de los tejidos (Mafongoya *et al.* 1998).

Otro factor que afecta es la relación carbono:nitrógeno (C:N); cuando esta es baja tiende a favorecer la mineralización, mientras que relaciones mayores de 25 provocan una lenta mineralización o bien a la inmovilización del N (Bertsch 1995; Bellows 2001). Esta relación es variable en el sustrato; va acorde a las especies y a la edad que tienen. De manera general se ha detectado que las plantas jóvenes y las gramíneas tienen relación C:N de alrededor de 20, lo cual favorece los procesos de descomposición. En cambio al madurar los tejidos se reduce su contenido proteico y mineral y se aumenta la lignina llegando hasta una relación C:N de 30. A medida que la proporción de lignina aumenta baja la calidad del sustrato, debido a que este componente afecta la acción de los descomponedores, porque esta protege a la celulosa y a otros componentes de la pared celular, reduciendo de esta manera la descomposición y liberación de nutrientes. Estimaciones realizadas indican que la hojarasca puede tener entre 5 y 20% de lignina, arriba de estos valores la descomposición se ve afectada seriamente. Crespo y Pérez (2000) demostraron este comportamiento en un estudio de 10 especies de pasto, en el cual encontraron que las especies que se descompusieron más rápido eran aquellas que tenían la más baja concentración de lignina y silicatos

Es por ello que algunos investigadores sugieren que la relación lignina:N y el porcentaje de N son las más adecuadas para pronosticar la descomposición. Thomas y Asawaka (1993) constataron que la relación lignina-N fue el mejor indicador de la descomposición de la materia orgánica y estaba correlacionaba significativamente con la liberación del N. Asimismo, detectaron una pobre correlación entre %N y la liberación de este nutriente, pero encontraron una significativa correlación entre polifenol:N y lignina+polifenol:N con la liberación de N. Los polifenoles afecta negativamente la degradación del material vegetal porque protegen a la proteína de la degradación; se estima que el umbral después del cual se ve afectada la liberación de N es de 40 g kg⁻¹ (Constantinides y Fownes 1994; Crespo y Pérez 2000; Schroth 2003). Asimismo, otros autores exponen que la relación lignina+polifenol:N es el índice más robusto para predecir la

descomposición del material y la liberación de N; los materiales que tengan menos de 10 en este índice liberan N más fácilmente (Mafongoya *et al.* 1998).

En contraposición a lo expuesto anteriormente, Palm y Sánchez (1991) usando hojas frescas de leguminosas tropicales, reportaron que tanto el % de N como la relación lignina:N eran buenas para predecir la degradación o para pronosticar la liberación del N. En contraste a esta segunda aseveración (lignina:N) Jamludheen y Kumar (1999) determinaron que aunque el % de N era buen indicador de la desaparición de las hojarasca [encontraron que la leucaena, árbol que tenía el nivel de N más alto era la que presentaba la tasa de descomposición más alta ($k=0.599$)] no hallaron una relación entre lignina y la relación de lignina:N con las tasas de degradación. Por ejemplo, a pesar de que una de las especies (*Embllica officinalis*) tenía la menor concentración de lignina (5%) tenía la constante de descomposición baja de $k=0.1799$ en contraste con *Artocarpus hirsutus* que tenía una concentración de lignina más alta (31.4%) y una $k=0.2055$. Además de estas relaciones, es importante la relación ácidos:bases, debido a que el exceso de ácidos y la falta de minerales, especialmente calcio y microelementos, pueden afectar la tasas de degradación (Fassbender y Bornemisza 1987).

Por otro lado, existen investigaciones que han encontrado que la mezcla de varios tipos de hojarasca puede hacer más eficiente el proceso de descomposición. Sin embargo, otros estudios no han encontrado ningún efecto. La acción puede darse debido a que la hojarasca de una puede cambiar las condiciones microambientales de la otra, favoreciendo la descomposición; o porque los nutrientes de una que es más rica se le pasan a la otra y mejoran sus relaciones C:N y así favorecen la actividad de los microorganismos (Mafongoya *et al.* 1998).

Otros estudios dicen que hay influencia de los tipos funcionales de plantas, de tal manera que las caducifolias presentan un patrón diferente a las perennifolias. Sin embargo, en un estudio sobre descomposición de hojarasca en cuatro tipos funcionales de árboles realizado por Wedderburn y Carter (1999), la hojarasca que presentaba una tasa más rápida de descomposición y una mayor liberación de nutrientes era la caducifolia fijadora de nitrógeno, la cual contiene bajos contenidos de lignina y carbono y altas cantidades de N. La perennifolia (fijadora de N) también produjo una hojarasca rica en N, pero su tasa de degradación era más

lentamente debido a los altos contenidos de lignina. En cambio, la no leguminosa tenía una tasa baja de degradación debido a que tenía una alta concentración de lignina y bajo contenido de N. Estos investigadores concluyeron que no importa si la especie es caducifolia o perennifolia; lo que influye en la tasa de descomposición y la liberación de nutrientes es la cantidad de lignina inicial y el contenido de N, y las relaciones entre estos componentes.

2.6.2 Influencia de factores externos sobre la velocidad de descomposición

Los procesos de descomposición también dependen de otros factores, tales como: cantidad de hojarasca, fertilidad del suelo, población y tipo de microorganismos (flora y microfauna), temperatura, agua, nutrientes. Todos estos afectan la capacidad de los microorganismos para efectuar el proceso de mineralización y humificación (Trofymow *et al.* 2002). Otros factores que inciden sobre la cantidad de nutrimentos a reciclarse por las leñosas perennes en un sistema silvopastoril son: las especies a usar, el estadio fenológico, la época del año, el manejo de las podas, la densidad de siembra, el tipo de pasto y el manejo se que se le da (Pezo e Ibrahim 1999)

La acumulación de la materia orgánica se ve afectada por el tipo de clima. Cuando es templado, el contenido aumenta debido a que las temperaturas más bajas disminuyen el proceso de descomposición. En cambio en lugares tropicales y cálidos la alta humedad y calor favorecen estos procesos de descomposición por lo que no hay mucha acumulación de materia orgánica (Fassbender 1993; Lehman *et al.* 1995).

El adecuado conocimiento de la producción de hojarasca y su tasa de descomposición es importante debido a que permite una mejor manipulación de la hojarasca, buscando como sincronizar sus aportes con las necesidades del cultivo. Cuando los materiales vegetales son de alta calidad presentan una rápida tasa de descomposición y liberación de nutrientes, lo que puede satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo, aunque las altas concentraciones en un solo momento, puede favorecer la pérdida de nutrientes, lo que disminuye el uso eficiente por los cultivos, especialmente si la liberación no coincide con los estados fenológicos de mayor demanda. Mientras que una lenta descomposición puede afectar el suministro inmediato de nutrientes; aunque por otro lado puede asegurar una provisión

constante de nutrimentos. Por lo tanto, materiales con calidad intermedia podrían mostrar un mejor patrón de liberación de nutrientes en el tiempo y puede garantizarse de esta manera una mejor sincronía con los cultivos asociados (Palm 1995). Por lo tanto, si se promueve en los sistemas silvopastoriles mezclas de árboles con distinta calidad se podría satisfacer mejor la demanda de las pasturas.

2.7 Efecto del componente arbóreo sobre el suelo

2.7.1 Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades biológicas del suelo

La mayor actividad de la fauna del suelo debajo de la copa de los árboles está relacionado con un aumento de la humedad y mejoras en las condiciones microclimáticas del suelo (Sánchez *et al.* 1998). Otro de los factores que favorece el aumento de la actividad de la macrofauna y los microorganismos del suelo es que la materia orgánica les sirve como sustrato alimenticio, con lo cual pueden estar más activos y liberan o movilizan más nutrimentos, haciéndolos disponibles para las plantas (Kass 1998). Investigaciones realizadas por Crespo *et al.* (1999) determinaron que la macrofauna del suelo era mayor en suelos bajo los árboles de *Albizia lebbbeck*, encontrándose 56 individuos de la macrofauna/m² en comparación con los 29 descubiertos en el monocultivo de pasturas. El favorecimiento de la actividad microbiana es de gran importancia porque aumenta la velocidad de descomposición y formación de humus.

2.7.2 Efecto en la estructura del suelo

Los árboles pueden mejorar las condiciones físicas de los suelos, en lo que se refiere a la porosidad y densidad aparente, mediante la acción de las raíces de los árboles y al aporte de materia orgánica; debido a que esta promueve la formación de agregados y megaporos, lo cual mejora la estructura del suelo y facilita la aireación del suelo. Esta también fomenta el desarrollo de macroorganismos (lombrices), los cuales hacen galerías en el suelo, con lo cual favorecen la descompactación de los suelos, especialmente en áreas degradadas por la mecanización o el sobrepastoreo (Botero y Russo 2000). Además, promueve un uso más eficiente del agua, debido a que incrementa la agregación de las partículas de limo, arena y arcilla, con lo cual se favorece la infiltración y la retención de agua (Kass 1998).

En un estudio realizado para evaluar el impacto del sistema silvopastoril de *Alnus acuminata* con *Pennisetum clandestinum* en la recuperación de suelos, al compararlo con los sitios de pastura en monocultivo, se encontró que esta última tenía una mayor densidad aparente (1.23 g cm^{-3}) que los lugares donde había pasturas con árboles de cuatro años de edad (1.07 g cm^{-3}). Este resultado se debe al aumento de materia orgánica, el cual ocurre en estos sistemas por el aporte de biomasa de los árboles, con lo cual se da un mayor crecimiento y descomposición de raíces del pasto y de los árboles (Villanueva e Ibrahim 2002).

2.8 Efecto del componente arbóreo sobre la producción de pastos

2.8.1 Productividad de las pasturas

Existe gran diversidad de estudios acerca de los efectos que tienen los árboles en la productividad de las pasturas; muchos de ellos hablan de que trae efectos positivos a la productividad del estrato herbáceo (Belsky *et al.* 1993; Bolivar 1998; Durr y Rangel 2002). Sin embargo, hay otros que determinan reducciones en la productividad de las pasturas (Carvalho 1997; Velasco 1998; Ribaski y Menezes 2002; Hernández y Russel 2001; Norton *et al.* 1990). Con resultados tan ambiguos, se hace necesario investigar a profundidad; para ello se deberían de trabajar bajo distintas condiciones edafoclimáticas y con diversidad de especies, para poder decir con mayor precisión bajo que ambiente funcionaria mejor estos sistemas (Belsky *et al.* 1993).

En algunos de los sistemas silvopastoriles, la existencia de leñosas perennes puede ayudar al mejoramiento de la fertilidad del suelo, con lo cual se mejora el crecimiento de las pasturas (Pezo e Ibrahim 1999). Sin embargo, hay que tener cuidado porque los árboles también pueden competir con las pasturas por agua, luz y nutrientes. Estos efectos pueden ser mayores si las especies arbóreas y de pastos tienen requerimientos nutricionales similares.

Los cambios en la producción y en calidad nutricional de los pastos están relacionados con las necesidades de luz que estos tienen. Debido a que la mayoría de las pasturas tropicales son C4, estas tienen una capacidad limitada de tolerar la sombra, lo cual disminuye su

frecuencia y productividad cuando se encuentran en sitios con baja intensidad lumínica, al contrario de las plantas C3 (por ejemplo, leguminosas) que se ven favorecidas con estas condiciones (Giraldo *et al.* 1995).

Belsky *et al.* (1993) en un estudio para evaluar la influencia de los árboles (*Adansonia digitata* y *Acacia tortilis*) sobre la productividad del pasto en dos lugares (uno con alta y otro con baja precipitación), encontraron que en donde hay mayor precipitación la producción del pasto es menor bajo de la copa de los árboles, en contraste con el lugar de poca lluvia. Esto se debe a que en el lugar más seco los árboles desarrollan raíces más largas para poder captar más agua y no se concentran de bajo de la copa a como ocurre en el lugar donde hay mayor cantidad de agua disponible en el suelo, por lo que el pasto crece más bajo esta condición. Esto demuestra que los árboles compiten por agua y nutrientes. No obstante, la competencia se puede reducir si se hace una adecuada selección de especies y manejo (podas), procurando que tengan distintas necesidades y que más bien aporten al sistema (Botero y Russo 2000; Schoroth *et al.* 2002). Otros de los factores que afectan la productividad de las pasturas son las características de los árboles, como lo son su arquitectura, forma, altura, tipo de copa (profundidad, densidad, longitud), debido a que éstas tienen influencia directa en la cantidad de radiación que dejan pasar al estrato herbáceo (Solórzano *et al.* 1998).

Los estudios que muestran un incremento en la productividad de las pasturas debajo y cerca de las copas de los árboles se dan de manera frecuente en los trópicos y subtrópicos, donde hay bajas densidades de árboles, poca precipitación y moderada fertilidad de suelos. En cambio, en donde hay una alta densidad arbórea, alta precipitación y suelos extremadamente pobres se reduce la productividad en aquellas áreas influenciadas por la copa de los árboles (Belsky *et al.* 1993).

Por otro lado, la presencia de árboles en las pasturas provoca cambios en la composición química del pasto que se encuentra bajo la sombra, lo cual puede relacionarse con la modificación que se produce en la fisiología de las plantas, debido a una reducción de la intensidad lumínica, lo cual produce un aumento del contenido de proteína y de la energía metabolizable. Al mismo tiempo causa una disminución de fibra en el pasto. Esta disminución en la producción de materia seca de pasturas en sistemas silvopastoriles, se debe al hecho de

que con el aumento de la sombra en los pastizales se da una reducción de las concentraciones de carbohidratos solubles (Pentón 2000). Simultáneamente a estas variaciones se producen cambios en los indicadores estructurales con un mayor porcentaje de hojas y un menor porcentaje de material muerto en el pastizal sombreado (Crespo *et al.* 1999). Por otro lado, se menciona que se da una reducción en la palatabilidad del pasto bajo de la sombra (Fassbender 1993).

A pesar de que las pasturas bajo sombra reciben menos radiación fotosintética activa (RAFA) se ha demostrado que éstas son más eficientes en el aprovechamiento de la energía solar. Esto se confirmó en un experimento de *Prosopis juliflora* con *Cenchrus ciliaris* y pasturas en monocultivo, donde se encontró que la gramínea cultivada bajo sombra compensó parte de la RAFA que recibía (274 vs. 1.805 E s⁻¹ m⁻²), con una mayor eficiencia fotosintética (1,94 vs. 1,07) (Ribaski y Menezes 2002).

Algunos experimentos han demostrado que la producción de las pasturas disminuye al estar asociadas con árboles. Velasco (1998) encontró que la producción de materia seca de la pastura en monocultivo presentó una mayor productividad (1.990 kg MS ha⁻¹ mes) que las que estaban asociadas con *Acacia mangium* a bajas densidades (1.509 kg MS ha⁻¹ mes) y a altas densidades (1.425 kg MS ha⁻¹ mes), mostrando que a mayores densidades de árboles las pasturas reducen la producción de biomasa. Estas diferencias pueden estar relacionadas con la reducción que detectó en la radiación fotosintética activa (RAFA) en los sistemas silvopastoriles, la cual fue 26% menor (1.435 μmol m⁻² s⁻¹) que en la pasturas sin árboles (1.950 μmol m⁻² s⁻¹).

Aunque las pasturas bajo pleno sol producen mayor cantidad de materia seca, esta es de menor calidad, debido a que tienen menor cantidad de proteína bruta y más fibra. Velasco (1998) halló diferencias significativas en la cantidad de material muerto en las pasturas solas siendo mayor en un 63 y 73% con respecto a baja y alta densidad de árboles, con lo cual se disminuye la calidad del pasto.

En contraste, existen otros estudios donde se reporta que la productividad de las pasturas era mayor bajo las copas de *Acacia tortilis* en comparación con las que crecían a

pleno sol. También se demostró que el incremento en la producción fue más significativo en lugares donde hay menor precipitación que en aquellos donde llueve más, llegando a alcanzar un 95 y un 52% más que el pasto que crece a pleno sol. Las diferencias en productividad entre las áreas que están influenciadas por las copas y las que están a pleno sol se pueden atribuir a los siguientes factores: mejoras en la fertilidad y estructura de los suelos bajo copa; a que la sombra reduce temperatura y evapotranspiración, mejorando así las relaciones de agua; y a la competencia entre árboles y cultivos por agua y nutrientes (Belsky 1994).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo entre noviembre del 2005 y agosto del 2006 en dos fincas ganaderas del Municipio de Muy Muy, del departamento de Matagalpa, Nicaragua. El Municipio de Muy Muy se encuentra ubicado entre los 12° 50' y 12° 40' N y a los 85° 45' y 85° 30' O y tiene un área de 394 km² (Figura 1) (CATIE-NORUEGA-PD 2002).

Figura 1. Mapa de ubicación del Municipio de Muy, Muy, Departamento de Matagalpa, Nicaragua.



3.1.1 Topografía

La topografía de Muy Muy se caracteriza por tener el 37 % de sus terrenos planos, el 45 % ondulado y el 18 % muy quebrados. La altitud en esta zona oscila entre los 220 y 780 msnm (CATIE-NORUEGA-PD 2002). Dentro de los cerros más importantes del municipio se encuentran el Caballo, Palo Alto, el Gusano, el Zompopo, Guasmure, Hato Nuevo, Taloliga, el Bálsamo, Compasagua, Cofradías, Coyotepe y Zanzíbar (Cruz y García 2002)

3.1.2 1.1.3 Geología y Suelos

En la región predominan los suelos alfisoles, molisoles y vertisoles. La mayor parte del Municipio esta cubierta por tobas estratificadas del Terciario. En las partes bajas y más planas (pendientes hasta del 10%) se caracterizan por la presencia de vertisoles con amplias grietas y estructuras prismáticas, mientras en áreas más onduladas (asociados a un mejor drenaje) son inceptisoles, con propiedades vérticas y de entisoles (suelos caracterizados por tener poca profundidad). En estos suelos predominan las texturas franco-arcillosa a arcillosa. Una de las características más importantes de estos tipos de suelos es que se agrietan en forma muy variable en la época seca, y tienen estructuras de bloques angulares gruesos. (MIDESAP 1985; (CATIE-NORUEGA-PD 2006).

Los suelos de los potreros donde estuvo establecido el experimento tienen un pH de 6,1 a 6,2; al ser ligeramente ácidos tienen una buena condición, debido a que en este rango de pH se da una mínima interferencia para la absorción de nutrientes. El contenido de Ca es alto, en cambio el Mg y K se encuentran en un nivel medio. El P se encuentra en nivel medio en caso de la Estrella y en bajo en el caso de Los Diamantes; puede deberse a que el último potrero es más antiguo y a que se ha ido agotando el P en el suelo. Esto concuerda con la base de datos de CATIE-NORUEGA-PD (2002), donde exponen que los suelos que tienen más de cuatro años de uso tienden a disminuir las concentraciones de P, alcanzando apenas 13 mg kg^{-1} en comparación con 28 mg kg^{-1} que presentan aquellos potreros que tienen menor tiempo de haber sido establecidos. También muestran que el 81% de los potreros tienen bajos contenidos de P; solo el 11% niveles medios de este elemento y que apenas el 8% tiene niveles

altos. Por otro lado, el contenido de materia orgánica (entre 4,5 y 8,4%) en el suelo es alto, lo cual es bueno porque favorece los procesos de absorción de nutrientes (Kass 1998).

Cuadro 1. Características de los suelos de los potreros experimentales en Muy Muy, Nicaragua.

Finca	Prof. (cm)	pH H ₂ O	Acidez -----cmol(+)/kg-----	Ca	Mg	K	P mg/kg	C.T. %	N.T. %
Los Diamantes	0-5	6,1	0,1	21,4	4,9	0,6	5,1	6,3	0,6
La Estrella	0-5	6,2	0,1	23,4	6,4	0,9	14,5	6,4	0,6

CT=carbono total; NT=nitrógeno total

Asimismo, el contenido de C y N total esta alto y la acidez extraíble es baja, lo cual implica que el porcentaje de saturación de acidez es bajo (0,25%) y el CIC (capacidad de intercambio catiónico) es alta (alrededor de 31 cmol(+) kg⁻¹). Todas estas características indican que estos suelos tienen alta fertilidad.

La densidad aparente es de 1,14 g/cm³, lo cual es considerada entre el rango apropiado para pasturas (0,9 a 1,3 g cm⁻³) (CATIE-NORUEGA-PD 2002). Por otro lado, estas zonas se caracterizan por tener planicies onduladas con pendientes menores de 27%, con drenaje entre moderadamente lento y moderadamente excesivo, con una pedregosidad de 4,8% y una profundidad efectiva que esta entre 20 y 60 cm.

3.1.3 1.1.2 Clima

El ecosistema de la zona de estudio se clasifica como trópico semi-húmedo en transición entre zona seca y húmeda. La precipitación promedio anual en Muy Muy, es de 1.517 mm aunque los totales anuales varían entre 1.400 y 1.800 mm. Entre diciembre y mayo se presenta un periodo seco de 3 – 6 meses. La temperatura promedio anual de la zona es de 24,5° C (Cruz y García 2002; INETER 2004).

Durante el año de estudio la precipitación se ha comportado de manera irregular, con la entrada del invierno tardía y con pocas lluvias. De enero a abril las precipitaciones fueron menores a los 100 mm y las más altas las alcanzaron en agosto (371 mm).

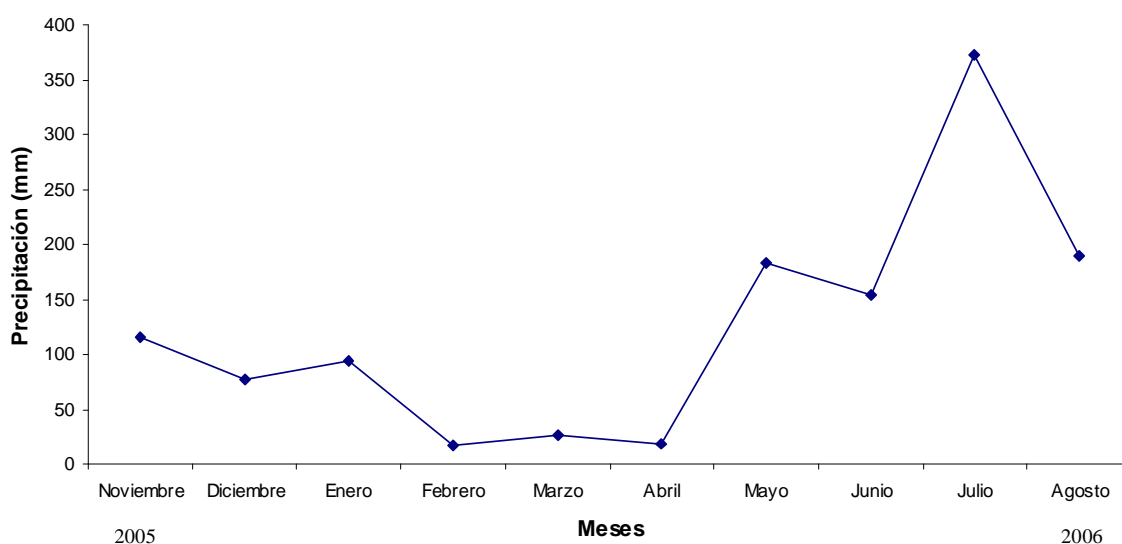


Figura 2. Distribución de la precipitación en Muy Muy de noviembre 2005 a julio 2006.

3.1.4 1.1.4 Actividades agropecuarias

De la superficie total del municipio de Muy Muy, actualmente solo el 10,5% esta cubierto por bosques naturales, tacotales o bosque secundario, el 77,6% de su superficie son pastizales y el restante 11,8% es de uso agrícola. La principal actividad productiva y económica es la ganadería vacuna de doble propósito, con alrededor de 25.000 cabezas. Otra de las actividades principales es la caficultura, la cual se desarrolla en las zonas altas del Municipio (CATIE-NORUEGA-PD 2002).

La ganadería abarca el 50% de todas las actividades productivas que se implementan; el problema que se presenta es que ésta tiene índices productivos y reproductivos bajos, en parte debido a que el 88% de las mismas pasturas se encuentran en estado avanzado de degradación. La cobertura de especies herbáceas forrajeras en los potreros alcanza apenas un

55%, mientras que las no forrajeras alcanzan un 42% y el suelo desnudo no supera el 4%. Dentro de las especies forrajeras más importantes se encuentran las gramas (*Paspalum* sp), las cuales se presentan en 45% de los potreros; el jaragua (*Hyparrhenia rufa*) con un 11% de la cobertura y la *B. brizantha* con un 5%. También se hallan dentro de las fincas algunas especies de pasto de corte como el King grass (*Pennisetum hybridum*) y Zacate Taiwán (*Pennisetum purpureum*). Por otro lado, entre las malezas más predominantes que incidían en las fincas se encuentran *Bauhinia monandra* (15%), *Ageratum conyzoides* (10%), *Paspalum virgatum* (9%), *Senna* sp (8%), *Blechum pyramidatum* (7,6%), *Sida acuta* (6,8%), e *Hyptis* sp (6%). En los potreros donde estas tenían presencia alcanzaban una cobertura entre el 16 y el 18% (CATIE-NORUEGA-PD 2006).

3.2 Criterios de selección y sistemas evaluados

3.2.1 Criterios de selección de especies

Los criterios utilizados para elegir las especies de *P. saman* y *G. ulmifolia* se basaron en los siguientes factores:

- 1) El interés de comparar dos especies contrastantes; por eso se eligió una especie que fuera leguminosa y que fija N (*P. saman*) y otra que no fuera leguminosa (*G. ulmifolia*). Al mismo tiempo, se buscó una especie que tuviera una copa grande y densa (*P. saman*); y otra que fuera más pequeña y rala (*G. ulmifolia*).
- 2) Las especies deberían tener alta presencia en potreros activos en la zona. Como se puede observar en el (cuadro 2), estas especies se encuentran con mayor frecuencia en las fincas ganaderas de Muy Muy.
- 3) Se consideraba que las especies deberían tener importancia para los productores de la zona, especialmente *G. ulmifolia* por la producción de frutos para el ganado y *P. saman* por el valor de la madera y por la producción de frutos.
- 4) Se escogieron dos tipos de pastos, la *B. brizantha* por ser un pasto mejorado, con mayor productividad y *P. conjugatum* un pasto natural, para comparar el efecto de ambas especies en la producción de hojarasca y el aporte de nutrientes de estas dos especies contrastantes.

Como resultado, se decidió evaluar 4 sistemas en esta investigación: a) pasturas naturales (*Paspalum conjugatum*) con y sin la influencia de genízaro (*Pithecellobium saman*) y guácimo (*Guazuma ulmifolia*); y b) pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) con y sin la influencia de genízaro y guácimo.

Cuadro 2 . Caracterización de la cobertura arbórea de las fincas de Muy Muy acorde a las especies de mayor representatividad en los potreros.

Nombre común	Nombre científico	Potreros de varias fincas de Muy Muy														
		Total árbo	Donald1	Donald2	Heberto1	Heberto2	Santana1	Lazo1	Rocha1	Rocha2	Marco	Tulio1	Tulio2	Otilio1	Santana2	La Estrella
Jiñocuabo	<i>Bursera simaruba</i>	40	3	3	0	6	1	1	7	6	0	2	11	0	0	0
Muñeco	<i>Cordia collococca</i>	40	0	20	0	6	2	0	1	1	0	7	2	0	1	0
Jaqua	<i>Genipa americana</i>	50	0	17	0	2	3	0	11	4	2	4	4	5	0	0
Matapalo	<i>Ficus isophlevia</i>	10	0	0	1	0	2	0	0	4	0	2	0	0	1	0
Quebracho	<i>Lysiloma auritum</i>	98	3	5	0	3	0	0	0	0	5	39	43	0	0	0
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	23	0	12	1	2	2	0	0	0	0	3	0	3	0	0
Coyote	<i>Platymiscium parviflorum</i>	40	0	4	0	5	24	0	2	0	0	0	2	3	0	9
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	199	0	7	0	20	0	2	1	1	1	114	53	0	1	1
Chaperno	<i>Lonchocarpus parviflorus</i>	180	0	15	0	2	10	2	7	1	43	52	36	5	7	0
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	107	0	65	0	3	0	5	4	0	7	2	11	3	7	4
Roble macueli	<i>Tabebuia rosea</i>	249	0	15	22	5	8	0	3	83	4	54	13	38	4	179
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	201	0	187	0	2	2	1	0	0	1	2	4	0	2	43
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	456	26	186	1	2	2	7	33	1	76	77	31	10	4	7
Carao	<i>Cassia grandis</i>	300	1	19	3	29	29	1	17	23	25	44	55	31	23	0
Genízaro	<i>Albizia saman</i>	151	3	92	0	1	13	0	0	5	15	3	3	2	14	0
	suma especies (15)	2144	36	647	28	88	98	19	86	129	179	402	258	107	69	234
	total potrero	2602	43	789	29	148	130	26	108	144	216	458	303	117	91	335
	Cobertura arbórea 15 especies de interés (m ²)	169400	2479.2	57091.6	1924.1	6805.6	18150	1243.4	7603.9	13638.3	10889.7	17375.6	10171.2	7591.2	14504.2	13314.0
	Cobertura arbórea total (m ²)	198006	2751.6	65791.4	1970.7	9778.3	21263.1	1504.1	9812.3	14518.8	12623.9	19374.4	11527.5	8513.8	15973.6	15268.8
	Área total del potrero (ha)		6.8	21.7	3.6	3.1	14.1	5.9	8.3	6.2	5.7	14.9	8.1	8.6	11.3	9.0
	Área total del potrero (m ²)	1189361	68644	217595	36605	30985	141433	59229	83118	62250	57613	150146	81642	86069	114032	90400
	Cobertura arbórea total potrero	16.6	4.0	30.2	5.4	31.6	15.0	2.5	11.8	23.3	21.9	12.9	14.1	9.9	14.0	16.9
	Cobertura de 15 especies	85.6	90.1	86.8	97.6	69.6	85.4	82.7	77.5	93.9	86.3	89.7	88.2	89.2	90.8	87.2
	Porción de individuos (15 especies) (%)	82.4	83.7	82.0	96.6	59.5	75.4	73.1	79.6	89.6	82.9	87.8	85.1	91.5	75.8	69.85
	Árboles/ha	21.9	6.3	36.3	7.9	47.8	9.2	4.4	13.0	23.1	37.5	30.5	37.1	13.6	37.06	21.7
	Árboles mayores15/ha	18.0	5.2	29.7	7.6	28.4	6.9	3.2	10.3	20.7	31.1	26.8	31.6	12.4	6.1	25.9

3.2.2 Criterios para la selección de áreas experimentales

Para la selección de los sitios de muestreo se revisaron los inventarios de árboles dispersos en potreros disponibles en el proyecto CATIE/NORUEGA -PD y se escogieron fincas que tenían las especies de interés. Posteriormente se hicieron recorridos por 12 fincas de la zona, dentro de las cuales estaban también fincas de productores que no están trabajando con el proyecto (Anexo 1). En cada una de ellas se buscaban las siguientes condiciones:

- 1) La disponibilidad de los árboles de *P. saman* y de *G. ulmifolia* alejados de otros de la misma especie, para evitar influencias externas en la evaluación de la hojarasca de cada árbol en estudio;
- 2) Que estos árboles no estuvieran cercanos a carreteras, caños, riachuelos o en zonas donde están muy expuestos al viento, porque estas situaciones anormales pueden conllevar a resultados no típicos.
- 3) Se buscaban árboles de tamaño mediano a grande típicos de cada especie, por considerarse que estos podrían demostrar mejor si existe o no una influencia significativa del componente arbóreo en el aporte de nutrientes.
- 4) Presencia del pasto mejorado *B. brizantha* o *Paspalum* spp, en ambos casos bien establecidas (edad mínima 2 años) y que ocuparan la mayor cobertura en el potrero.
- 5) Condiciones edafoclimáticas similares entre las dos fincas. Por lo tanto, se buscaban los potreros en zona llamada llanura ondulada. Sin embargo, por no tener replicaciones de las pasturas esta investigación fue desarrollada como dos estudios de casos: uno con *B. brizantha* y la otra con *P. conjugatum*.
- 6) La disposición de los productores para prestar su finca para montar el experimento, debido a que había que aislar las áreas del pastoreo que estaban cercanas a los árboles de interés por lo que se iba a reducir un poco sus áreas de pastoreo.

Luego de revisar 12 fincas y potreros, se seleccionaron dos potreros en dos fincas que cumplieron con los criterios preestablecidos. La primera finca es La Estrella con una extensión de 700 ha; de las cuales se ocuparon para la realización de este estudio 9 ha, las que corresponden a un potrero con pastura mejorada (*B. brizantha*) de dos años de establecida. En este sitio había 37 árboles ha⁻¹ y un porcentaje de malezas del 15%. La Estrella tiene una altitud que oscila entre los 300 y 440 msnm. Esta se caracterizó por ser una finca con

pendientes que oscilaron entre el 2 y el 30%, con poca presencia de piedras en la superficie. Tuvo un mosaico de suelos entre poco (24 cm) a muy profundos (>55 cm); en algunas partes del potrero el drenaje era imperfecto y en otras los suelos estaban bien drenados. En cuanto al manejo, tuvo un ciclo de pastoreo de 22 días de descanso y 8 días de ocupación y mantuvieron una carga animal de 1,5 UA ha⁻¹ (Cuadro 3).

La otra finca escogida es la finca Los Diamantes. Esta tenía pasturas naturales y una área de 51 ha. El potrero en el que se estableció el experimento era de 5 ha; este presentaba una densidad de 22 árboles ha⁻¹ y un porcentaje de malezas de 18%. Esta finca se caracterizó por tener suelos poco profundos (18 a 31 cm) con pendientes entre 2 y 20%; por tener poca presencia de piedras en la superficie y por un drenaje que va de bien a escasamente drenado. Por otro lado, al sistema lo manejaban con una rotación de 15 o menos días de descanso y hasta 8 días de ocupación, con una carga animal de 1 UA ha⁻¹. En ambas fincas el manejo de malezas se realizaba mediante chapas y que ocasionalmente el uso de herbicidas. Asimismo, no fertilizan los pastos.

En cada uno de los dos potreros seleccionados se hizo un inventario de árboles y en base a eso se escogieron un total de 12 árboles donde se colocaron las trampas para la captura de la hojarasca. Es decir, en cada una de las fincas, se escogieron seis árboles (tres de *P. saman* y tres de *G. ulmifolia*) de tamaño medio a grande (con dap mayor a 20 cm).

Cuadro 3. Características generales de las fincas ganaderas del Municipio de Muy Muy, Nicaragua, y de las fincas escogidas para el estudio.

Características	Tipologías de las fincas		
	Fincas de la región	Finca la Estrella	Finca Los Diamantes
Suelos	Génesis de suelos: toba volcánica	Toba volcánica	Toba volcánica
	Vertisoles, alfisoles, ultisoles, molisoles, inceptisoles	Vertisoles, molisoles, inceptisoles.	vertisoles, inceptisoles.
Topografía	Nivel de pendiente en las pasturas (%): plana 37, ondulada 45, muy quebrada 18.	Esta finca tiene terrenos planos, pero la mayoría va de ondulado a muy quebrado.	Esta finca tiene la mayoría de sus terrenos planos y ondulados. Pocos con pendientes muy pronunciadas.
Manejo	Control de Malezas: 61,7% utiliza herbicidas	En esta finca utilizan herbicidas para el control de malezas, combinándolo con las chapias.	En esta finca utilizan las chapias para el control de malezas.
	Aplicación de fertilizantes a las pasturas: solamente el 6,7% aplican fertilizantes.	No se aplica fertilizantes a las pasturas.	No se aplica fertilizantes a las pasturas.
	Tamaño y rotación de los potreros: el 28 % de los potreros son menores de 3 ha, el 38% esta entre los 3-6 ha y el 33% es mayor de 6 ha. En los potreros se dan buenas rotaciones debido a que productores tienen varios apartos; solamente en la época de verano abren las puertas y mantienen un pastoreo continuo.	Los potreros de esta finca están entre las 3 y 6 ha. Mantienen un buen sistema de rotación de potreros porque tienen suficiente área. Lo manejan con 22 a 30 días de descanso y 4 de pastoreo. Solamente en verano mantienen algunos potreros con puertas abiertas, dándose el pastoreo continuo.	Los potreros de esta finca están entre 3 y 6 ha. Mantienen un sistema de rotación muy desordenado debido a que tiene poca área, el ciclo es menor de 15 días. En verano mantienen puertas abiertas, dándose el pastoreo continuo.
Condiciones climáticas	El ecosistema de esta zona se clasifica como trópico semi-húmedo en transición entre zona seca y húmeda.	La finca se encuentra en esta zona	La finca se encuentra en esta zona
	La precipitación anual en Muy, Muy, es de 1.576 mm al año ⁻¹ . Existe una época seca de 6 meses.	Acorde a los registros de precipitación del proyecto en fincas vecinas, estas tuvieron un promedio para el año 2005 de 1500-1890 mm.	Acorde a los registros de precipitación del proyecto en fincas vecinas, esta tuvieron un promedio para el año 2005 de 1890 mm.

	Tipologías de las fincas		
Características	Fincas de la región	Finca la Estrella	Finca Los Diamantes
Condiciones climáticas	Temperatura promedio 24.5° C.	La finca se encuentra en esta zona, por lo que la temperaturas de estas fincas se encuentran dentro de este rango.	
Altitud (msnm)	Altitud de la región entre 220-780	La altitud en esta finca oscila entre los 375 y 429.	La altitud en esta finca oscila entre los 324 y 326.
Gramíneas deseables	Dominan especies naturales (<i>Paspalum</i> spp) y naturalizadas; especies mejoradas en aumento	Los potreros de esta finca tienen <i>Brachiaria brizantha</i> mezclada con gran cantidad de malezas.	Los potreros de esta finca tienen <i>Paspalum conjugatum</i> mezclada con <i>Paspalum notatum</i> y gran cantidad de malezas.
Carga animal (UA ha ⁻¹)	1	1.5	1
Edad del potrero (años)	Los potreros más viejos tienen alrededor de 45 años	20	35
Historial	La mayoría fueron tacotales, potreros.	Tacotal, luego pasto natural y hace dos años pasto mejorados	Tacotal, huerta y luego pasto natural. Cuantos años

Fuentes: MIDESAP 1985; MIDINRA 1987; CATIE-NORUEGA-PD 2002.

3.2.3 Caracterización de los árboles en estudio

Los árboles evaluados de *P. saman* (estudio de hojarasca) se caracterizaron por ser los árboles más grandes en ambas fincas, con rangos de área de copa entre 260 y 929 m²; con DAP entre 48 y 122; y alturas que oscilan entre 8,7 y 15 m. En cambio, *G. ulmifolia* era de porte más pequeño, con DAP entre 37 y 58 cm, alturas que varían entre 9,8 y 13,4 m y con áreas de copa entre 118 y 159 m² (Cuadro 4)

Cuadro 4. Características dasométricas de los árboles estudiados en las fincas de Muy Muy, Nicaragua.

Árbol muestreado	DAP (cm)	Área copa (m ²)	Altura total (m)	Altura fuste (m)	Profundidad de copa (m)
Los Diamantes					
Gen trampa de bambú	59	396	9,8	2,5	7,3
Gen 1	83	487	13,7	6,3	5
Gen 2	85	260	8,7	2,3	6,4
Gen 3	48	274	9,9	2,6	9,8
Gua 1	38	124	13,4	4,9	9,8
Gua 2	58	119	10,5	2,8	7,7
Gua 3	44	143	10	3,5	6,5
Hacienda La Estrella					
Gua 4	54	159	11,9	2,7	9,2
Gua 5	37	118	9,8	2,2	7,62
Gua 6	44	153	12,9	2,6	10,3
Gen 4	64	430	14,2	5,1	9,1
Gen 5	57	299	13	4,2	8,9
Gen 6	122	929	15	5,2	9,8

Nota: Gen es *Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth, familia Mimosaceae.
Gua corresponde a *Guazuma ulmifolia* Lam, familia Sterculiaceae.

3.3 Muestreo y análisis de datos

3.3.1 Inventario de las especies arbóreas

Los potreros seleccionados se georeferenciaron con GPS (Global Positioning System), al igual que todos los árboles con dap mayores de 10 cm que se encontraban en los potreros

experimentales, aproximadamente con una precisión menor de 5 m para la toma de cada uno de los puntos. De los árboles se midieron los siguientes variables: el diámetro del tallo a la altura del pecho (1,3 m), para lo cual se usó la cinta diamétrica; la altura del árbol (total y fuste), la cual se obtuvo mediante el clinómetro Suunto. Además, se midió el diámetro de copa con cinta métrica en dos direcciones perpendiculares en el caso del inventario general y en 4 direcciones en los árboles que tenían trampas. Posteriormente, en base al inventario se calculó la densidad de estas especies por ha y se determinaron las áreas que están bajo la influencia directa de la copa.

3.3.2 Muestreo y evaluación del aporte de hojarasca de árboles

3.3.2.1 Medición de hojarasca de árboles con trampas circulares

Entre diciembre 2005 y agosto del 2006 se midió la producción de hojarasca en los 12 árboles seleccionados (seis *P. saman* y seis *G. ulmifolia*), con ocho trampas distribuidas sistemáticamente alrededor de cada árbol (Figura 3). La recolecta de la hojarasca se hizo cada 14 días durante los meses más secos (Diciembre-Abril) y cada siete días durante la época lluviosa (Mayo – Agosto) , para evitar una posible alteración de la hojarasca por descomposición por la alta humedad. El periodo de medición incluyó la estación seca y parte de la lluviosa¹.

Para medir la hojarasca de los árboles se establecieron sitios de muestreo en cuatro direcciones (acorde a los puntos cardinales); esto para poder captar la influencia del viento en la dispersión heterogénea de la hojarasca. En cada una de las cuatro direcciones se colocaron dos puntos de muestreo; el primero a la mitad de la copa (punto A) y el segundo a 3 m del borde de la copa (punto B) (Figura 2). Por la variabilidad en el tamaño de las copas, la ubicación de las trampas (tanto de las que estaban bajo de la copa de los árboles como las que estaban fuera de esta) variaban en cuanto a la distancia al tronco del árbol, de tal manera que las que estaban fuera de copa quedaron alejadas entre 12 y 15 m del tronco en el caso de *P. saman* y entre 9 y 10 m en *G. ulmifolia*.

¹ El estudio fue continuado por el proyecto CATIE-NORUEGA-PD hasta obtener los datos de un año.

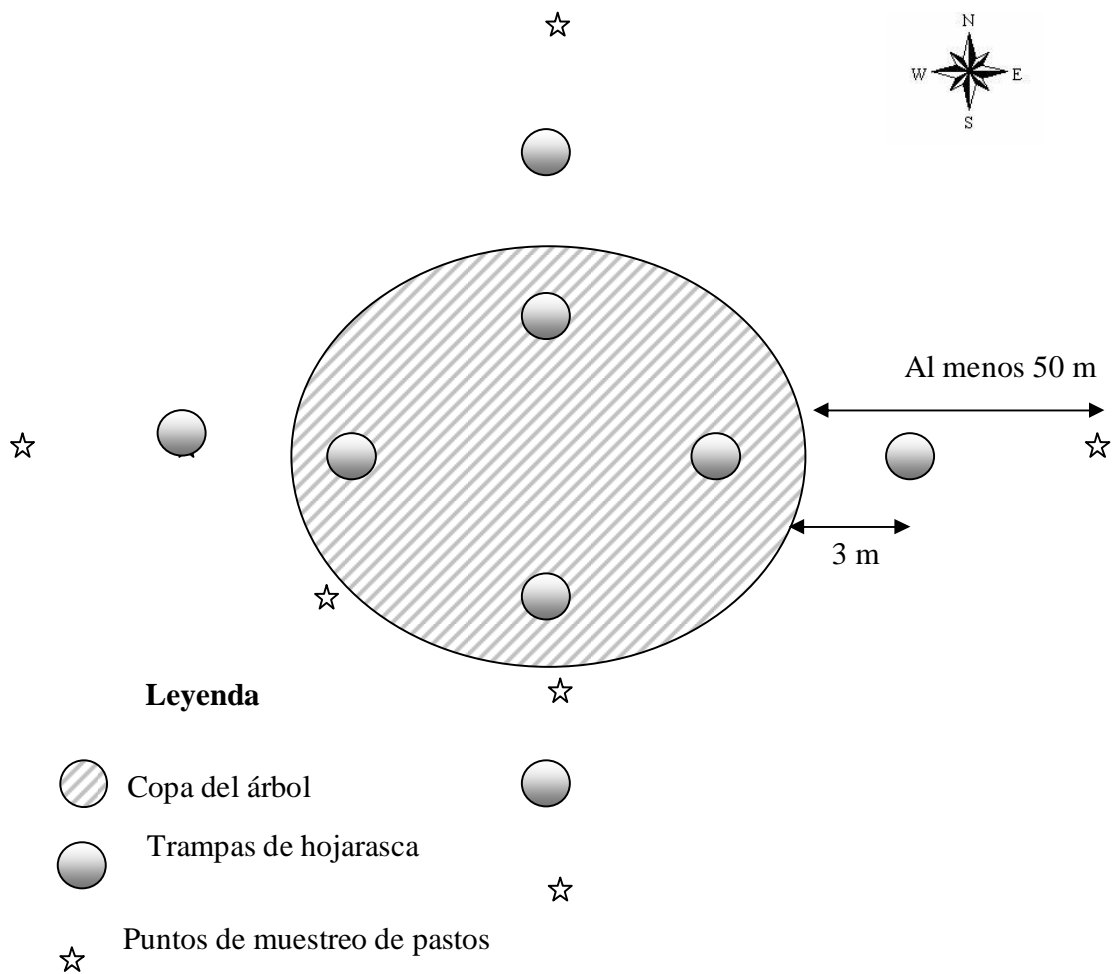


Figura 3. Diagrama para la toma de muestras por árbol.

Las trampas estuvieron ubicadas siempre en el mismo lugar, para solamente coleccionar la hojarasca nueva. Las trampas eran circulares, con un área de 1 m^2 . Estaban elaboradas con varillas de metal de 6 mm de diámetros y levantadas del suelo por 3 patas de 60 cm de altura. Dentro de cada marco se situó un colector de hojarasca de sarán de 50% y con una profundidad de 40 cm. Es importante recalcar que se tuvo que colocar piedras en cada una de las trampas, para evitar que el viento volteara las trampas y sacara la hojarasca colectada. Las trampas se protegieron con cercas de alambre para evitar que el ganado pudiera dañarlas. En cada colecta, las trampas fueron vaciadas y luego de separar la hojarasca proveniente de otras especies (sobre todo hojas), se separó la hojarasca en sus componentes (hojas, raquis, ramas,

flores, epífitas y frutos), los cuales se pesaron en fresco y se pusieron a secar en estufa a 60 °C hasta alcanzar un peso constante (generalmente a las 48 o 72 horas).



Figura 4. Trampas circulares para la recolección de hojarasca.

En este estudio se contempla también la hojarasca producida por las epífitas, por considerarse que estas contribuyen con gran cantidad de biomasa y que sus tejidos son ricos en nutrientes. Esta se maneja como un solo componente, aunque en ella cayeran bromelias, orquídeas, musgos y otros tipos de plantas parásitas.

Para los análisis químicos de la hojarasca en cada una de las fincas se hicieron muestras compuestas por especie y componente para cada mes. Estas muestras se molían y se almacenaban en recipientes plásticos hasta su envío al laboratorio de suelos y tejidos vegetales del CATIE.

3.3.2.2 *Determinación de la distribución espacial de la hojarasca con trampas lineales*

Para obtener información sobre la distribución espacial de la hojarasca se construyeron, en un árbol de *G. ulmifolia* y en otro de *P. saman*, trampas lineales en las cuatro direcciones (N, S, E y O). Las trampas comenzaron justo fuera del tronco y terminaron 10 m después del borde de copa y tenían un ancho de 50 cm, aproximadamente. Estas estaban elaboradas con soportes de bambú y sarán de 50 %. Se subdividieron las trampas en secciones de 2 metros, aproximadamente, separadas por pequeñas subdivisiones hechas de saran. Cada sección fue medida con precisión para determinar su superficie.

Además se midió el aporte de las ramas grandes, para ello se limpió todas las áreas de bajo de las copas de los árboles de *G. ulmifolia* y *P. saman* y se eliminaron todas las ramas que habían caído en los meses previos. Se recogían las ramas grandes mensualmente y se pesaban en el campo, también se tomaba una muestra para mandarla al laboratorio para hacerle análisis de nutrientes.

3.3.3 *Muestreo y evaluación del aporte de hojarasca de pastos*

Para evaluar el efecto de las dos especies arbóreas sobre la producción de hojarasca del estrato herbáceo, se midió la cantidad de hojarasca producida por las especies de pastos *B. brizantha* y *P. conjugatum* con y sin la influencia de estos árboles. Para ello se establecieron dos puntos de muestreo; uno de ellos estuvo ubicado entre el borde de copa y un metro afuera de esta, mientras el otro punto estuvo ubicado en área sin la influencia de árboles, la cual estaba ubicada al menos a 50 m de los árboles.

Para la determinación del punto que tiene influencia del árbol se analizó en forma preliminar los datos disponibles en este momento sobre la distribución de la hojarasca de los árboles. Con base en esto, se seleccionaron los sitios que captan una mayor proporción de hojarasca arbórea, los cuales están entre el oeste y el sur de las copas. La razón principal para elegir este punto de muestreo (un metro fuera de copa) es porque por debajo de la copa *B. brizantha* tiene un crecimiento muy limitado, probablemente por competencia por luz con los árboles. Por lo tanto, sería imposible estudiar el efecto de un posible aporte de nutrientes

mediante la caída de hojarasca sobre el crecimiento del pasto. Además, fuera de la copa existe menor influencia de otros procesos que podrían aportar nutrientes, como son la deposición en seco de nutrimentos de la hoja y tallo de los árboles y la caída nutrientes provenientes de las hojas senescentes que todavía permanecen adheridas a los árboles.

Para la selección de los sitios de muestreo de hojarasca de pastos en cada una de las fincas se buscaron sitios con cobertura de los pastos prácticamente puros (sin malezas). En cada fecha de evaluación se tomaron tres muestras en cada una de las posiciones (bajo de copa de *G. ulmifolia*, bajo copa de *P. saman* y áreas donde no hay influencia de árboles), para un total de nueve muestras por potrero. La recolección de hojarasca de pastos se hizo a partir de diciembre 2005 y se concluyeron en agosto del 2006.

Para la realización de este estudio se consideró como hojarasca de pastos todo el material senescente que no estaba adherido a la planta (suelto en el suelo o enredado entre los tallos) (Boddey *et al.*2004).

Una vez que se escogían los sitios para la toma de una muestra de pastos se colocaban los marcos, los cuales variaban de tamaño acorde a las especies; en *P. conjugatum* (especie de crecimiento rastrera) se utilizaron áreas de 0.25 m² (0,5 x 0,5 m); y en *B. brizantha* se usaron cuadrantes de 0,5 m², (1.0 x 0.5 m) porque esta especie de pasto presenta un tipo de crecimiento macollador.

Para tomar las muestras de hojarasca de pastos se utilizó el método propuesto por Rezende *et al.* (1999), ver también Oliveira *et al.* (2004); Boddey *et al.* (2004) y Santos *et al.* (2006). El primer paso consistía en limpiar un área de 20 cm alrededor de los marcos (este material se eliminó); esto para evitar la entrada de hojarasca de zonas aledañas ya sea por arrastre de los animales o por el viento. Después del limpiado se recolectaba dentro del marco la hojarasca existente (HE) en la pastura. Posteriormente se dejaba descansar el mismo sitio siete días y luego se cosechaba la hojarasca depositada (HD), esto se hacía cuatro veces en el mismo punto hasta completar el ciclo de 28 días, realizándose las cosechas en el día 7, 14, 21 y 28. Es importante notar que frecuencia de las mediciones de HE es mayor a la usada en los estudios mencionados. La razón por aumentar la frecuencia radica en el hecho que en los

mencionados estudios se ha observado que dentro de un periodo de 14 días parte de la HD se descompone, causando una subestimación de la misma. Por otra parte, algunos autores (Rezende *et al.* 1999; Boddey *et al.* 2004) proponen una fórmula matemática para corregir para este problema, sin embargo, por la presencia de una época seca bien definida, el área de Muy Muy no cumple con los requisitos para aplicar esta corrección matemática; por lo cual, no se puede determinar una cantidad de hojarasca existente (HE) constante en el año.

Estos puntos de muestreo se usaba una sola vez (un ciclo), luego se abandonaban y se establecían nuevas parcelas cada mes. Esto para evitar modificaciones en el crecimiento del pasto, debidas a cambios en flujos de nutrientes y microclima provocados por la interferencia del evaluador. Los sitios utilizados se marcaban para no volver a tomarlos. Para la extracción de la hojarasca producida se juntaba el material con cuidado (sin “manosear” mucho las plantas), debido a que se observó que la manipulación del evaluador causa el desprendimiento de hojarasca que todavía se encuentra adherida a la planta. Es importante recalcar que estas áreas estuvieron sin protección, debido a que el pastoreo tiene influencia directa en la producción de hojarasca.

Debido al proceso de descomposición, en la HE se recolecta material de todo tamaño (fino, grueso, mediano dificultando la recolección); además, parte del material se encontró con tierra o con estiércol. Por lo tanto, para no sobre estimar la producción de hojarasca del pasto se tomaron ciertos criterios para realizar la recolección: primeramente, se debe hacer un proceso de selección y limpieza; eliminando manualmente todo el material que no proveniente del pasto (malezas, hojas de árboles, entre otros); luego se pasa el material (secado al aire en caso necesario) por un tamiz de 5 mm para eliminar terrones. Posteriormente, con la hojarasca mayor de 5 mm se calculó el porcentaje de materia seca, para lo cual se secaba en el horno a 60 °C hasta alcanzar peso constante (normalmente 48 – 72 horas).

De esta hojarasca de pastos se hicieron muestras compuestas mensuales por posición y especie, para determinar en el laboratorio el contenido de nutrientes (P, Ca, K, Mg y N). Además, para corregir el hecho de que la hojarasca recolectada tenía todavía algo de suelo adherido, se le verificó mediante el análisis del contenido de ceniza en el laboratorio

(incineración de muestras a 600°C), y se le comparó con el contenido de ceniza determinada en una muestra de hojarasca que se encontraba adherida a la planta.

El material menor a 5 mm se desechaba, porque la mayor parte de este material está en un grado más avanzado de descomposición que el material >5 mm, además, generalmente estaba mezclado con mucha tierra. Para determinar el error generado por este procedimiento se realizó un análisis, encontrándose que en una muestra de hojarasca existente recolectada al azar en 0,5 m² de pastura de *B. brizantha* había 279 g (peso seco) de hojarasca mayor a 5 mm. Casi todo este material flotaba en agua. El material menor a 5 mm se introdujo en agua, después el material que flotaba se sacó y se le determinó el peso seco (14 g). Este material se considera hojarasca, por lo tanto, descartando este material subestimaba la cantidad de hojarasca existente en un 5 %.

Por otra parte, una porción considerable del material vegetativo <5 mm se hundía junto con la tierra. Se decidió considerar la parte del material que no flota como materia orgánica del suelo, no como hojarasca. Mediante una inspección visual se corroboró que este material tiene una apariencia mucho más descompuesta que el material flotante, lo cual apoya esta decisión.

Cabe recalcar que esta metodología es muy poco difundida y que su afinamiento se realizó en los primeros tres meses de aprendizaje, mediante evaluaciones periódicas del muestreo y del material que se colectaba, es por ello que los datos de HD están mejor tomados y más uniformes a partir del mes de abril (después de que se establecieron una serie de criterios que permitían identificar los distintos grados de descomposición de la hojarasca); en cambio la HE está bien recolectada desde el principio del experimento (diciembre).

3.3.4 Muestreo de biomasa de pastos y composición botánica

Para estimar la productividad general de las pasturas experimentales se utilizó el método de doble muestreo (Botanal). Para ello se observó la distribución del follaje en el potrero tomando en cuenta atributos como: altura, vigor, densidad de la pastura y composición de especies herbáceas. Posteriormente, se seleccionaron escalas (clases) de producción de 1 a 5, de tal manera que se consideró “1” para los sitios con niveles de menor producción y “5”

para los sitios con niveles de mayor producción. Seguidamente, con la ayuda de un cuadrante de 50 x 50 cm, se tomaron 60 observaciones visuales en cada aparcamiento, registrando por cada cuadrante la composición botánica de las pasturas y el porcentaje que estas ocupan, además de su clasificación de 1 a 5. Para realizar los cálculos de biomasa de pastos, se tomaron tres muestras destructivas por cada clase de la escala (3x5=15 muestras por parcela); en el caso de *P. conjugatum* se cortó a ras del suelo, por ser una especie rastrera; en cambio en *B. brizantha* el corte se hizo a 10 cm del suelo. Con estos datos se determinó de manera individual la biomasa real (peso seco al horno). Esta evaluación se realizó mensualmente, de diciembre del 2005 a agosto del 2006.

3.3.5 Análisis químico de las muestras de hojarasca de árboles y pastos

La determinación por medio de análisis químicos del contenido en la hojarasca de los principales nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) se hizo siguiendo los protocolos estándares de laboratorio del CATIE.

La hojarasca fue analizada para calcular el N y C Total por combustión, con autoanализador. El contenido de P en la hojarasca se determinó con el método de digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórico 5:1, realizando la lectura por colorimetría (Henríquez *et al.* 1995). La concentración de Ca, Mg y K en la hojarasca se determinó con el método de absorción atómica y espectrometría (Thomas y Asakawa 1993). El análisis del porcentaje de ceniza por incineración del material a 550C por 8 horas.

3.3.6 Muestreo de la fertilidad del suelo

De los árboles seleccionados para el estudio de hojarasca arbórea se seleccionaron tres individuos por especie (eligiendo aquellos árboles que no tuvieran la influencia de otro tipo de hojarasca), y en el área influenciado por ellos se tomaron muestras de suelo a mitad de la copa y a tres metros fuera del borde de la copa. También, en áreas de pleno sol sin influencia de los árboles se sacaron tres muestras en los dos potreros seleccionados (las mismas posiciones seleccionadas para muestreo de hojarasca). En cada uno de los puntos de muestreo se tomaron 4 submuestra muestras de suelo con un barreno a una profundidad de 0-5 cm. Se seleccionó esta profundidad por ser la parte del suelo donde la descomposición de la hojarasca tiene

mayor efecto. A partir de estos se saco una muestra compuesta para cada posición, que fueron secadas al aire y enviadas al laboratorio de suelos de CATIE. El pH fue determinado en agua. Para la extracción de K y P se empleó Olsen Modificado pH 8,5 (relación suelo:solución 2,5:25) y para la determinación de Ca, Mg y Acidez extraíble se usó Cloruro de Potasio 1 N. Para determinar el N y C, se eliminaron todos los carbonatos con clorhídrico 1+1 y luego se usó el método de combustión (guía laboratorio catie).

3.4 Diseño experimental

3.4.1 Muestreo de árboles

Se hizo un diseño de muestreo condicionado, debido a que se escogieron árboles, acorde a una serie de criterios, dentro de los cuales estaban: la lejanía de otros árboles de la misma especie, el tamaño mediano o grande, que no estuvieran influenciados por factores que pudieran afectar la deposición y la distribución espacial de la hojarasca. Había tres repeticiones por especie en cada uno de los dos ensayos (fincas) El arreglo era factorial 2 x 9 x 2, donde factor A = especie arbórea (dos niveles: *P. saman* y *G. ulmifolia*); factor B = meses (nueve niveles: meses de diciembre del 2005 a agosto 2006); factor C (dos niveles, a= mitad de copa, b = tres metros después de borde de copa). Se muestreo un total de seis árboles (tres de *P. saman* y tres de *G. ulmifolia*) por ensayo (finca). En los ensayos se comparó el efecto de las dos especies arbóreas con pasto mejorado (*B. brizantha*) o con pasto natural (*P. conjugatum*).

Modelo estadístico para cada ensayo de hojarasca de árboles

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + E_j + AE_{ij} + P_k + PA_{ik} + PE_{jk} + PAE_{ijk} + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = es la respuesta de la variable en el iésimo tratamiento y la jésima repetición.

μ = es la media general de los sistemas.

A_i = es el efecto de las especies arbóreas.

E_j = es el efecto de los meses.

AE_{ij} = es el efecto de la interacción especie arbórea-meses.

P_k = es el efecto de la posición.

PA_{ik} = es el efecto de la interacción posición-especie arbórea.

PE_{jk} = es el efecto de la posición por las estaciones.

PAE_{ijk} = es el efecto de la interacción posición-especie arbórea-estación.

e_{ijk} = es el error experimental.

Modelo estadístico para el ensayo de hojarasca de pastos

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + P_j + E_k + GP_{ij} + GE_{ik} + PE_{jk} + GPE_{ijk} + e_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijk} = es la respuesta de la variable en el i ésimo tratamiento y la j ésima repetición.

μ = es la media general de los sistemas.

G_i = es el efecto de la especie de arbórea.

P_j = es el efecto de la posición.

E_k = es el efecto de las estaciones.

GP_{ij} = es el efecto de la especie de especie arbórea-posición.

GE_{ik} = es el efecto de la interacción especie de arbórea-estación.

PE_{jk} = es el efecto de la interacción posición-estación.

GPE_{ijk} = es el efecto de la interacción de especie arbórea-posición-estación.

e_{ijk} = es el error experimental.

3.4.2 Análisis de la información

3.4.2.1 Caracterización de los árboles de fincas

Con los datos obtenidos en el inventario de las fincas (dap, profundidad de copa, altura, área de copa) se hizo una prueba “t” de Student en SAS (Statistical Analysis System) para comparar las especies arbóreas (*P. saman* y *G. ulmifolia*) en La Estrella y Los Diamantes. También se hizo un análisis de correlación entre estas variables (dimensiones de los árboles) y la producción de hojarasca arbórea por componente, para ver con cual de ellos están relacionados.

3.4.2.2 Hojarasca de árboles

3.4.2.2.1 Estimación de la producción de hojarasca de árboles

Para la estimación de la hojarasca de árboles por hectárea se está asumiendo que existe una relación lineal en la producción de hojarasca por lo que al estar ubicadas las trampas a mitad de copa estas representan el promedio de la producción por metro cuadrado bajo de la copa. También se asume que la mayor proporción de hojarasca cae bajo de la copa. Sin embargo, hay que tomar estos cálculos como aproximaciones y no como valores exactos debido a que no se puede estimar con certeza cuál es el aporte de cada árbol, debido a que no pusieron trampas circulares en las distintas áreas de la copa; y no se tomó en cuenta que estas áreas varían (las posiciones más lejanas del tronco representan áreas cada vez más grandes); es decir, los datos de los gradientes de deposición de hojarasca son limitados (solo dos árboles con trampas de bambú) y los valores presentados podrían sub o sobre estimar la verdadera producción.

Para la estimación de la producción de hojarasca arbórea en cada una de las fincas se sumó la deposición de hojarasca (por componente) en las cuatro trampas que estaban ubicadas a mitad de copa. Después se extrapolaron los valores encontrados en los cuatro metros cuadrados (cuatro trampas) al área total de la copa de cada árbol. Una vez que se tenía la producción de hojarasca por componente se multiplicaron estas cantidades por la concentración de los diferentes nutrientes que se encuentran en ella, para determinar el aporte de los distintos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg). De la misma manera se procedió con las trampas que están a 3 m fuera de copa; lo único que cambia es la forma de calcular el área. Debido a que el centro de la trampa está colocada a 3.5 m del borde de copa se tomó la decisión de tomar un anillo que tuviera 7 m de ancho a partir del borde de copa, para que estas quedaran en el centro de esta área. Después se calculó el área de este anillo restandole el área que está bajo la copa de los árboles y en base a la producción de las trampas de afuera se extrapolaron los valores para esta área. Para las estimaciones de producción de hojarasca por hectárea se extrapolaron los valores encontrados en los tres árboles en estudio a la densidad de árboles de las especies de interés (*G. ulmifolia* y *P. saman*) encontrada en el inventario del mismo potrero.

No obstante, para tener una idea de la distribución de hojarasca en las diferentes posiciones se usaron las trampas lineales, con la cual se pudo estimar los distintos gradientes de deposición de hojarasca bajo de la copa y hasta diez metros después del borde de copa, en las cuatro direcciones (puntos cardinales). La información generada se debe de usar con cuidado, pues solo se cuenta con una trampa por especie (no se tienen repeticiones).

Para determinar si las trampas redondas estaban captando la variabilidad de la producción de hojarasca, se las comparó con las trampas lineales de bambú, logrando determinar que los dos tipos de trampas usadas en este experimento muestran las mismas tendencias (Anexo 8 y 9).

3.4.2.2 Análisis estadístico de la producción de hojarasca de árboles

Para el análisis estadístico de los datos de hojarasca de árboles (recolectada con trampas circulares) se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en el programa estadístico SAS, el cual permitió comparar la producción de hojarasca (por componente) de *G. ulmifolia* y de *P. saman*. Este se hizo por mes para detectar las diferencias debidas a las etapas fenológicas y luego se hicieron por estación (seca y lluviosa) para determinar si esta tenía relación con la producción de hojarasca. También se analizaron las diferencias que habían en cuanto a las fincas y la posición (bajo de copa y fuera de ella). Además, se hicieron comparaciones de media con Duncan para detectar mejor las diferencias.

3.4.2.3 Muestreo de biomasa de pastos y composición botánica

Con los promedios de producción de materia seca de cada escala real (clase) y las cinco escalas visuales se hizo una regresión para realizar los cálculos la biomasa de la pastura en $t\ ha^{-1}$ (Haydock y Shaw 1975; Tothill *et al.* 1992).

Para ello se uso la ecuación de regresión $y = x + b (Mv - Mr)$

donde:

y = producción estimada de materia seca por $0,25\ m^2$.

X = producción promedio en base seca de muestras reales de 1 a 5.

Mv = es el promedio de las muestras visuales (usando la escala de 1 a 5).

Mr= el promedio de los niveles en la escala real que va de 1 a 5; es decir, tiene el valor de 3.

b= coeficiente de regresión entre observaciones visuales y valores obtenidos para la cantidad de materia seca en las muestras reales tomadas.

Para determinar si habían diferencias significativas en la productividad de las pasturas en las estaciones (seca y lluviosa) se hizo un análisis de correlación (SAS) entre precipitación y biomasa de *B. brizantha* y *P. conjugatum*.

3.4.2.4 Aporte de hojarasca de pastos

Debido a que las muestras de hojarasca de pastos se encontraban con suelo adherido, se decidió determinar el contenido de ceniza a estas muestras y a la hojarasca que estaba atada a la planta (supuestamente limpia de suelo). Para determinar por diferencia el porcentaje de suelo que tiene la hojarasca y restárselo a la producción de hojarasca; esto se hizo para no sobreestimar la producción de hojarasca del pasto, por el suelo que se adhiere a esta. Por ejemplo, en el mes de diciembre en La Estrella, la hojarasca de *B. brizantha* presentaba un 15,9% de ceniza y la hojarasca que estaba todavía pegada a la planta tenía un 11%, al estar libre de suelo, solo quedaron los minerales; quiere decir que el 4,9% (15,9-11%), de la hojarasca era suelo, por eso se debe corregir la cantidad a la hojarasca que se recolectó (374 g), quedando 355,3 g (374*95%). Las concentraciones de nutrientes también deben de cambiar por el suelo que se encuentra en la hojarasca, pero se desconoce la proporción en que lo hacen, por eso no se corrigieron estos datos.

Para el cálculo del aporte de hojarasca de pastos por hectárea, se estimó el área de copa de todas las especies arbóreas y se le resto a la hectárea, por considerar que de bajo de la copa de los árboles no crecen los pastos de interés. También se estimó la producción de hojarasca en un anillo que iba del borde de copa a 1 m hacia fuera, para las otras especies arbóreas (diferentes a las dos de interés) que estaban en los potreros se hizo un análisis de cuales eran leguminosas y cuales no y acorde a esto se les tomo como si fueran *P. saman* o *G. ulmifolia*. Por último se calculó el área de pasto que esta a pleno sol y acorde a los valores encontrados en cada una de las posiciones se extrapolo la producción a hectárea. Se hizo un análisis de varianza, para determinar la influencia de los árboles sobre su producción y

contenido de nutrientes. Para eso se compraron las áreas afectadas por la copa de los árboles (*G. ulmifolia* y *P. saman*) con las zonas que estaban fuera de la influencia de estos. Los análisis se hicieron por mes y por estación para determinar las variaciones en el tiempo de la producción de hojarasca. Para la estimación de la constante de descomposición se utilizó la fórmula usada Boddey *et al.* (2004), la cual se presenta a continuación:

$$k = (\ln (HE + HDx) - \ln (HEx)) / t$$

donde:

k= constante de descomposición.

HE= hojarasca existente en día cero.

HDx= hojarasca depositada en los distintos periodos (entre 28 y 35 días).

HEx= hojarasca existente en el nuevo periodo.

t= tiempo (días entre observaciones).

3.4.2.5 Análisis del suelo

Se hizo un ANOVA en SAS, para comparar la concentración de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg), pH y acidez del suelo en las posiciones que estaban influenciadas por la copa de *G. ulmifolia*, *P. saman* y las áreas que estaban a pleno sol.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del componente arbóreo de las pasturas de Muy Muy

En el potrero de “La Estrella” se encontraban 335 árboles con DAP > 10 cm, pertenecientes a 18 especies y 11 familias. (Cuadro 2). Las especies que se encontraban en mayor número eran: *Platymiscium pleiostachyum* (213), *Cordia alliodora* (41), *G. ulmifolia* (17) y *P. saman* (11). Estas cuatro especies conformaron el 84% del número total de árboles. La cobertura arbórea en este potrero era del 17%, de la cual las cuatro especies más abundantes conformaron el 78% (Cuadro 2).

Cuadro 5. Cantidad de árboles con DAP > 10 cm por especie en el potrero estudiado de 9,0 ha en La Hacienda La Estrella, Muy Muy, Nicaragua.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Frecuencias	Densidad (árboles/ha)	Porcentaje
Aguacate	<i>Persea coerulea</i>	Lauraceae	1	0,11	0
Carao	<i>Cassia grandis</i> L.f	Caesalpinaceae	8	0,88	2
Chaperno blanco	<i>Lonchocarpus parviflorus</i>	Fabaceae	2	0,22	1
Cortéz amarillo	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Bignoniaceae	1	0,11	0
Coyote	<i>Platymiscium pleiostachyum</i> J.d. Smith	Tabaceae	213	23,56	64
Frijolillo	<i>Leucaena shannoni</i>	Mimosaceae	2	0,22	1
Genízaro	<i>Pithecellobium saman</i> (Jacq.) Benth	Mimosaceae	11	1,22	3
Guaba	<i>Inga</i> sp.	Mimosaceae	8	0,88	2
Guachipilín	<i>Diphysa robinoides</i>	Fabaceae	1	0,11	0
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae	9	1,00	3
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae.	17	1,88	5
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	1	0,11	0
Laurel negro	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz y Pavon) Oken	Boraginaceae	41	4,54	12
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud.	Fabaceae	7	0,77	2
Lagarto	<i>Sciadodendron excelsum</i>	Araliaceae	4	0,44	1
Pochote	<i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq.) Dugand.	Bombacaceae	1	0,11	0
Roble	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	Bignoniaceae	5	0,55	1
Vainillo	<i>Senna atomaria</i>	Caesalpinaceae	3	0,33	1
Total			335	37,06	100

En el potrero estudiado de la finca “Los Diamantes” se encontraban 110 árboles dispersos con DAP > 10 cm pertenecientes a 19 especies y 16 familias (Cuadro 6), con una cobertura arbórea total del 26% (Cuadro 2). Las 5 especies más abundantes eran: *G. ulmifolia* (26), *Cassia grandis* (23), *T. rosea* (15), *P. pleiostachyum* (9), *P. saman* (9), que en total conformaron el 73% del número total de árboles y tenían una cobertura aérea de 77%.

Cuadro 6. Cantidad de árboles con DAP > 10 cm por especie en el potrero estudiado de 5,1 ha de la finca Los Diamantes, Muy Muy, Nicaragua.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Frecuencias de árboles	Densidad (árboles/ha)	Porcentaje
Camajoche	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Cochlospermaceae	2	0,39	2
Carao	<i>Cassia grandis</i> L.f	Caesalpinaceae	23	4,54	21
Coyote	<i>Platymiscium pleiostachyum</i> J.d. Smith	Tabaceae	9	1,78	8
Genízaro	<i>Pithecellobium saman</i> (Jacq.) Benth	Mimosaceae	7	1,38	6
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Mimosaceae	3	0,59	3
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae.	26	5,13	24
Cojón de burro	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	Apocynaceae	3	0,59	3
Indio desnudo	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	1	0,20	1
Jagua	<i>Genipa americana</i>	Rubiaceae	2	0,39	2
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	8	1,58	7
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz y Pavon) Oken	Boraginaceae	1	0,20	1
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud.	Fabaceae	1	0,20	1
Mata palo	<i>Ficus obtusifolia</i> H.B.K.	Moraceae	1	0,20	1
Muñeco	<i>Cordia collococca</i>	Boraginaceae	1	0,20	1
Piojillo	<i>Cupania guatemalensis</i>	Sapindaceae	1	0,20	1
Pochote	<i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq.) Dugand.	Bombacaceae	2	0,39	2
Poró	<i>Erythrina berteroana</i> Urb.	Fabaceae	2	0,39	2
Roble	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	Bignoniaceae	15	2,96	14
Soncoya	<i>Annona purpurea</i>	Annonaceae	2	0,39	2
Total			110	21,70	100

Aunque hay diferencias entre los 2 potreros estudiados, los resultados encontrados en este estudio concuerdan con los inventarios realizados por el proyecto CATIE-NORUEGA-PD (2004), donde se encontró que de 2602 árboles (DAP > 10 cm) dispersos en potreros localizados en la llanura ondulada de Muy Muy (donde se ubican los potreros estudiados) las especies más abundantes eran *G. ulmifolia* (456), *C. grandis* (300); *Tabebuia rosea* (246), *Enterolobium cyclocarpum* (201) y *P. saman* (151), *Cordia alliodora* (199); *Platymiscium pleiostachyum* (40). La cobertura arbórea total es de 17%, de la cual las 15 especies más representativas ocupaban el 86% (Cuadro 2).

Al hacer una prueba t-students (Anexo 3) para ver si existían diferencias entre los árboles estudiados de *G. ulmifolia* o de *P. saman* que se encontraban en La Estrella y Los Diamantes, se halló que los individuos de tanto *G. ulmifolia* como *P. saman* no presentaban diferencias entre DAP, altura total, área y profundidad de copa (Cuadro 7).

Cuadro 7. Características dasométricas de los árboles de interés en dos fincas de Muy Muy.

Especies de árboles	Dap promedio (cm)	Error estándar	Área de copa promedio (m ²)	Error estándar	Altura total promedio (m)	Error estándar
<i>Pithecellobium saman</i>						
La Estrella	56	7.2	292	73	12	0.6
Los Diamantes	57	7.3	258	58	10	0.46
<i>Guazuma ulmifolia</i>						
Los Estrella	42	3.4	105	55	11	0.52
Los Diamantes	35	2.4	83	60	9	0.42

Nota: promedio de tres árboles para cada especie.

Tanto en La Estrella como en Los Diamantes se observó una concentración de árboles, especialmente de *G. ulmifolia* en ciertas áreas del potrero, esto podría deberse a cierta afinidad de la especie arbórea con condiciones de suelos. También existen áreas dentro de los potreros que no tienen influencia de los árboles. En ambos potreros existe menor cantidad de árboles de *P. saman*, esto sugiere que los productores mantienen bajas cantidades de este árbol, por la gran cantidad de sombra que este provoca. La densidad total de árboles por hectárea era mayor en La Estrella (37 árboles/ha) que en Los Diamantes (22 árboles/ha) (Figura 5 y 6).

Figura 5. Distribución de árboles en La Estrella

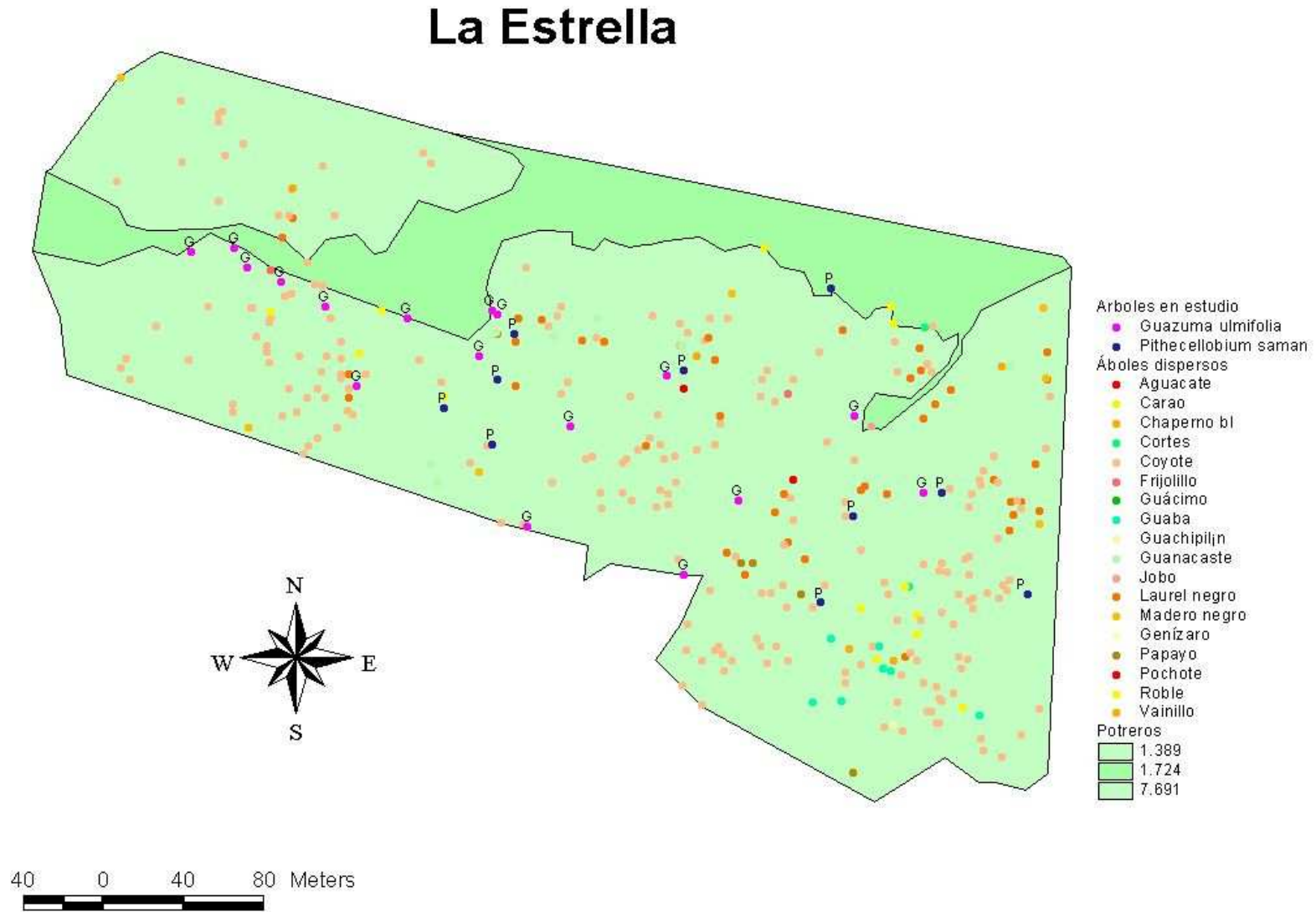
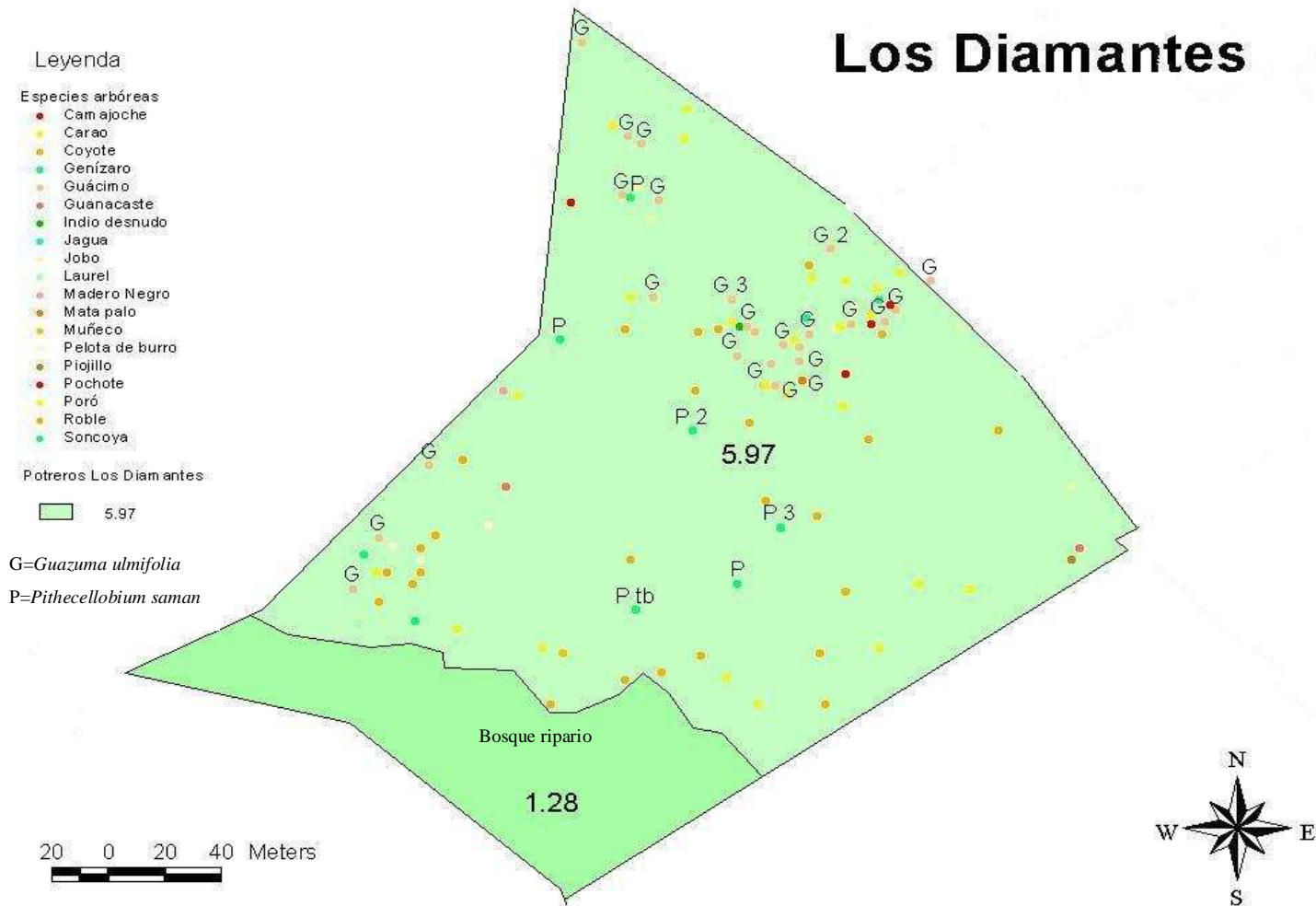


Figura 6. Distribución de árboles en La Estrella



4.2 Distribución temporal de la producción de hojarasca de *G. ulmifolia* y *P. saman*

4.2.1 *P. saman*

La producción de hojarasca total (hojas, raquis, flores, frutos, epífitas ramas menores) de *P. saman* durante los nueve meses de estudio (diciembre del 2005 a agosto 2006) de los tres árboles de La Estrella fue mayor (279 g de MS m⁻²) que la de Los Diamantes (195 g m⁻²) (Anexo 5). La producción de hojarasca cambió a través del tiempo ($p < 0,0001$) (Figura 7), con los más altos valores de producción de hojas entre febrero y marzo, con 34 y 60 g de MS m⁻² respectivamente (Cuadro 8), cuando los árboles perdieron todo su follaje. Este comportamiento es normal, debido a que esta especie se comporta como caducifolia en lugares donde hay una época seca bien definida (Figura 2), como es el caso de Muy Muy. Jamaludheen y Kumar (1999) exponen en su estudio sobre *Acacia auriculiformis*, *Ailanthus triphysa*, *Embllica officinalis* y *Leucaena leucocephala* que este comportamiento se ve inducido por el estrés provocado por las altas temperaturas y la falta de humedad. En cambio en zonas donde hay lluvias constantes, los árboles de *P. saman* no botan todo su follaje (Durr 2001; Cordero y Boshier 2003).

El rebrote de hojas se presentó a finales de la estación seca (abril), esto concuerda con Durr (2001). Poco después del rebrote se empiezan a presentar algunos abortos de hojas, sin embargo, en los meses mayo hasta julio la caída de hojarasca en forma de hoja fue mínimo. La menor producción se presentó en junio (0,7 g m⁻²) después de la fenofase (evento fenológico) de rebrote (cuadro 8). En agosto se observó un aumento en la caída de hojas (Anexo 5).

En mayo, al final de la época seca, los árboles estaban floreciendo y se presentó otro pico en la producción total de hojarasca (Figura 7). Esto se dio inmediatamente después del revestimiento de las hojas, igual a lo encontrado por Staples y Elevitch (2006). En Los Diamantes, los árboles produjeron mayor cantidad de flores que en La Estrella. Estas diferencias pueden deberse a la variabilidad intrapoblacional de las especies; dadas por estímulos intrínsecos o a que dentro de una misma especie los individuos responden de manera diferente al microambiente (Williamns-Linera y Meave 2002) (Figura 7). Su producción

también difiere significativamente ($p < 0,0001$), siendo mayor en mayo y junio (43 y 19 g m⁻², respectivamente) (Anexo 8).

Los residuos de epífitas no presentaron diferencias significativas en su producción a lo largo de los nueve meses ($p = 0,25$) (Cuadro 8); sin embargo, se presentó un pequeño aumento en julio y agosto. La presencia de epífitas en este árbol coincide con las observaciones realizadas por Staples y Elevitch (2006) quienes reportan que *P. saman* se caracteriza por ser un buen hospedero de epífitas, especialmente helechos y orquídeas. Por otro lado, se observó en este estudio que los árboles de *P. saman* presentaban menor cantidad de plantas parásitas que los de *G. ulmifolia* (observaciones personales). Estas diferencias pueden deberse a que la afinidad de las epífitas está relacionada con la arquitectura del árbol (ángulo de inclinación de las ramas, diámetro de estas), condiciones químicas y morfológicas de la corteza y a los microclimas que se generan dentro de la copa de los árboles (Zotz y Andrade 2002).

Según Staples y Elevitch (2006) las ramas constituyen el componente de la hojarasca más variable, pues no presentó un patrón definido; la caída depende de factores como el viento, edad, presencia de enfermedades y de la cantidad de epífitas. En el presente estudio, la producción de ramas varió poco a lo largo de los meses ($p = 0,0059$); la tendencia en ambos sitios fue de menor caída de ramas entre febrero y abril (figura 8). Probablemente este relacionado con la ausencia de hojas que reduce el peso de las ramas.

En el periodo de estudio no hubo producción de frutos de *P. saman*; solamente se encontraban frutos vanos (pequeños y sin semilla) en las trampas. Por eso los valores reportados son bajos y no presentan variación entre meses ($p = 0,46$). Al recorrer la zona, se observó que ningún árbol de *P. saman* tenía frutos. La ausencia de frutos de este año coincide con las observaciones realizadas por Harmon (2005) en la zona del pacífico de Costa Rica, donde encontró que la fructificación de *P. saman* es un evento que raras veces ocurre anualmente, la mayoría de los árboles tienen un ciclo de dos o más años. Asimismo, Janzen (1982a) reporta que en *P. saman* la fructificación no ocurre todos los años.

Acorde a Petit (1994) la fructificación se presenta entre febrero y junio, época que coincide con la encontrada en este estudio. Estudios realizados en Nicaragua reportan que los

árboles de *P. saman* pueden llegar a producir entre 100 y 150 kg de frutos árbol⁻¹ año⁻¹ (Durr 1992).

Cuadro 8. Promedio de producción de hojarasca por componente de seis árboles de *Pithecellobium saman* en dos fincas en Muy Muy, Nicaragua.

Mes	Hojas	EE	Ramas	EE	Flores	EE	frutos	EE	Epífitas	EE	total
	g MS m ²										
Diciembre	6,2	1,3	4,2	0,2	0,0	0	0,0	0,0	0,5	0,1	10,9
Enero	11,3	0,1	3,8	0,4	0,0	0	0,2	0,1	0,1	0,1	15,4
Febrero	34,1	8,5	1,3	0,1	0,0	0	1,5	1,3	0,0	0,0	36,9
Marzo	55,9	9,4	1,7	0,4	0,0	0	4,4	4,4	0,5	0,2	62,5
Abril	10,5	7,7	0,4	0,1	5,0	0,1	0,9	0,9	1,7	0,5	18,5
Mayo	1,5	0,7	5,2	0,1	43,4	5,4	0,3	0,1	0,8	0,2	51,2
Junio	0,7	0,1	5,7	4,2	19,1	9,5	0,35	0,3	0,4	0,2	26,3
Julio	1,0	0,3	3,5	1,1	1,2	0,4	0,2	0,1	1,8	1,1	7,6
Agosto	3,6	0,2	2,0	1,2	0,0	0,0	0,2	0,0	1,6	0,2	7,5
Total	124,8		27,9		68,6		7,9		7,5		236,7
Porcentaje	52,7		11,8		29,0		3,3		3,2		100,0

EE=error estándar.

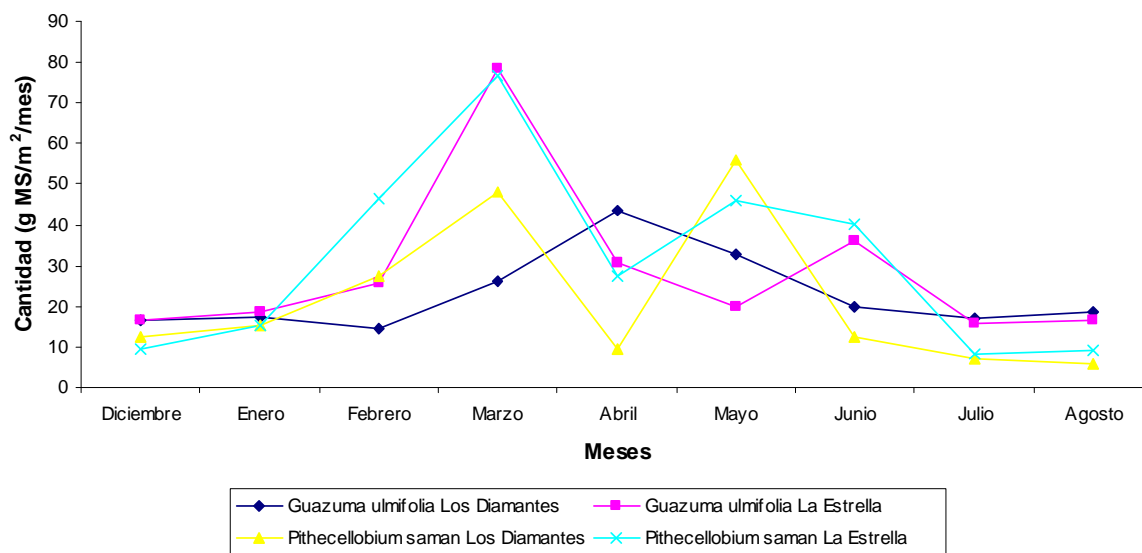


Figura 7. Producción de hojarasca total de *Guazuma ulmifolia* y *Pithecellobium saman* en 2006 en dos fincas de Muy Muy, Nicaragua.

4.2.2 *Guazuma ulmifolia*

El promedio de la producción de hojarasca total (hojas, flores, frutos, epífitas y ramas) de *G. ulmifolia* durante los nueve meses de estudio en los tres árboles de La Estrella fue de 258 g m⁻², mientras que en Los Diamantes fue de 206 g m⁻² (Cuadro 9). Las diferencias se deben a que los árboles de *G. ulmifolia* que se encuentran en la Estrella tienen áreas de copas más grandes que los árboles que están en Los Diamantes (cuadro 4). La producción de hojarasca de hojas difirió a lo largo de los meses (Anexo 4; p<0,0001), la máxima caída se dio entre marzo y abril (16 g m⁻² en ambos meses), época en que los árboles quedaron sin hojas (Cuadro 9). Nunes *et al.* (2005), igual que Petit (1994) hallaron que la caída de hojas esta asociada con el déficit hídrico y que el rebrote presenta una correlación positiva con la precipitación. En mayo y junio están renovando sus hojas y por lo tanto se presenta una mínima producción de hojarasca en forma de hojas (0,5 y 1 g m⁻², respectivamente). Entre julio y agosto empieza a incrementarse poco a poco la producción.

Durante los meses de observación (diciembre-agosto), la floración de *G. ulmifolia* se presentó en un solo periodo, entre mayo y junio, mostrando diferencias entre los meses (p<0,0001), siendo mayor en junio que en mayo (13 y 11 g m⁻², respectivamente). Al menos que se presentara otra época de floración en el periodo no observado, este es diferente de lo reportado por CATIE (1991) para zonas con estación seca bien definidas (igual a la del estudio) de América Central, donde se observaron dos épocas de floración, la primera entre enero y marzo y la segunda en julio.

La producción de frutos presentó diferencias significativas a través de los meses (p=0,0003). Inicio en diciembre en muy pequeñas cantidades y fue incrementando hasta alcanzar el pico en marzo y abril. Esto es consistente con lo que reporta la literatura (CATIE 1991; Petit 1994): los frutos se maduran un año después de la floración, con la aparición de los primeros frutos a finales del año, entre noviembre y diciembre, y el pico de producción entre febrero y abril. Janzen (1982b), reportó que *G. ulmifolia* inicia su producción de frutos desde los seis años de edad y que a partir de entonces florea y fructifica todos los años.

Las ramas y las epífitas se produjeron de forma constante sin diferencias significativas entre meses ($p=0,06$ y $0,40$, respectivamente). Sin embargo, las ramas mostraron un incremento después de que los árboles perdieron todo su follaje en abril, posiblemente porque quedan expuestas al sol y al viento, lo que hace que las ramas que se habían secado se caigan con facilidad.

Cuadro 9. Promedio de producción de hojarasca por componente de seis árboles de Guazuma ulmifolia en dos fincas en Muy Muy, Nicaragua

Mes	Hojas	EE	Ramas	EE	Frutos	EE	Flores	EE	Epifitas	EE	Total
	g MS m ⁻²										
Diciembre	8,3	2,4	2,1	0,4	0,25	0,2	0,0	0,0	5,9	2,3	16,6
Enero	10,1	0,9	4,3	0,9	0,4	0,1	0,0	0,0	3,2	0,3	18,0
Febrero	9,4	2,2	2,9	0,3	4,9	4,5	0,0	0,0	2,9	0,7	20,1
Marzo	15,8	2,2	2,8	1,5	31,1	24,5	0,0	0,0	2,4	1,8	52,1
Abril	15,8	0,1	0,3	0,2	16,2	2,3	0,0	0,0	4,9	3,9	37,1
Mayo	0,5	0,1	2,1	1,7	3,6	0,7	11,9	0,8	8,4	4,6	26,4
Junio	1,0	0,3	4,7	2,1	1,7	1,4	13,2	5,8	7,3	1,3	27,9
Julio	2,2	0,5	6,6	1,7	0,3	0,2	0,7	0,1	6,6	2,0	16,4
Agosto	4,7	0,8	3,4	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	1,7	17,6
Total	67,7		29,1		58,5		25,8		51,1		232,2
Porcentaje	29,2		12,5		25,2		11,1		22,0		100,0

Al igual que *P. saman* los árboles individuales presentaron picos en la producción de los componentes hojas, flores y frutos en distintos momentos. Esto puede deberse a las condiciones propias del individuo respecto a su fenología, edad, suelo y condiciones de humedad en el micrositio ocupado; las cuales pueden retrasar o adelantar la caída de la hojarasca. Por ejemplo, la máxima producción de hojas de *G. ulmifolia* se presentó en la Estrella en el mes de marzo; en cambio, en Los Diamantes fue en abril. Nunes *et al.* (2005) evaluó la fenología de *G. ulmifolia* en Minas Gerais, Brasil, demostrando que no hay sincronía entre todos los individuos estudiados al momento de botar y renovar las hojas; ya que algunos individuos botaron sus hojas antes que otros, e inclusive hubieron algunos (entre el 5 y el 33% de sus árboles) que no perdieron totalmente sus hojas. Atribuyó estas diferencias a que la fenología de los árboles individuales (de la misma especie) puede estar afectada por condiciones edáficas locales, foto periodo y por condiciones intrínsecas de las plantas.

4.3 Proporción de los distintos componentes de la hojarasca de *G. ulmifolia* y *P. saman*

Del total de hojarasca producida por *P. saman*, las hojas constituyeron el 53% (hojas compuestas: 39% hojuelas más 14% raquis), seguido de flores (29%), ramas con diámetro menor a 1 cm (12%), frutos (3%) y epífitas (principalmente orquídeas y bromélias) con el 3% (Cuadro 8).

El componente que más proporción tenía en la hojarasca de *G. ulmifolia* eran las hojas con un 29%, seguido de los frutos (25%), las epífitas (22%), las ramas (13%) y las flores (11%) (Cuadro 9). Los árboles estudiados de *G. ulmifolia* producían mucho más hojarasca de epífitas que *P. saman* (51 vs 7,5 g m⁻²). Los frutos de *G. ulmifolia* representaban también una proporción muy importante de la hojarasca, siendo el segundo componente que más aporta a la hojarasca total; confirmando el potencial forrajero de esta especie (los frutos son muy apetecidos por los animales).

4.4 Efecto de sitios en la producción de hojarasca

Las pruebas de ANOVA demostraron que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) en la mayoría de los meses evaluados (diciembre del 2005 a agosto del 2006), entre la finca Los Diamantes y La Estrella lo que significa que no existe efecto de sitio (Anexo 7 y 8). Sin embargo, se dan algunas excepciones; los árboles (ambas especies) de La Estrella entraron primero a producir hojarasca de hoja en el mes de febrero ($p = 0,048$), *G. ulmifolia* produjo 11,6 g m⁻² mes⁻¹ en La Estrella y 7,2 g m⁻² mes⁻¹ en los Diamantes. Asimismo, *P. saman* produjo 42,6 en La Estrella y 25,7 g m⁻² mes⁻¹ en Los Diamantes) (Anexo 5 y 6). Esto posiblemente se debe a que los árboles de la Estrella se encontraban en zonas más onduladas por lo que sus suelos se secan antes de los suelos en Los Diamantes, induciendo la caída de hojarasca por estrés hídrico. Estas observaciones coinciden con Janzen (1982a) quien reportó que *P. saman* es un árbol deciduo que se comporta de manera irregular en la caída de las hojas y que mantiene sus hojas por más tiempo cuando esta creciendo en suelos más húmedos. Igualmente sucede con las ramas de *G. ulmifolia* y *P. saman* en junio ($p = 0,0211$), cuando se produjo mucho viento (Cuadro 5 y 6). En La Estrella los árboles están más expuestos al viento por estar en terreno más ondulado que en Los Diamantes. Esta observación coincide con

Staples y Elevitch (2006) los cuales reportan que los vientos fuertes pueden provocar la caída de ramas secas.

Asimismo, las fincas presentaron diferencia en cuanto a la producción de flores en el mes de junio ($p=0,0039$), siendo 24 g m^{-2} en La Estrella y 9 g m^{-2} en los Diamantes. Tanto *P. saman* como *G. ulmifolia* produjeron en mayo cantidades de flores ligeramente mayores en Los Diamantes que en La Estrella; en cambio, en junio los árboles de La Estrella fueron los que produjeron más flores (Anexo 8).

En el caso de los frutos, se hallaron diferencias entre los dos sitios en febrero ($p=0,0151$), marzo (0,005) y junio (0,0124) debido a que los árboles de *G. ulmifolia* de la Estrella produjeron más frutos que los *G. ulmifolia* de la otra finca. Esto puede deberse a que los árboles de La Estrella tienen mayor área de copa que los de Los Diamantes (Cuadro 4).

De igual manera, las epífitas que estaban en *G. ulmifolia* en abril tuvieron diferencias ($p=0,028$), siendo mayor la producción en Los Diamantes. Esto se debe a que algunos árboles (dos) de *G. ulmifolia* en Los Diamantes presentaban mayor cantidad de epífitas que los de La Estrella (observación visual). La diferencia ocurre justo en el momento en que los árboles están botando todo sus hojas, posiblemente las epífitas se ven afectada por la mayor incidencia de la radiación solar.

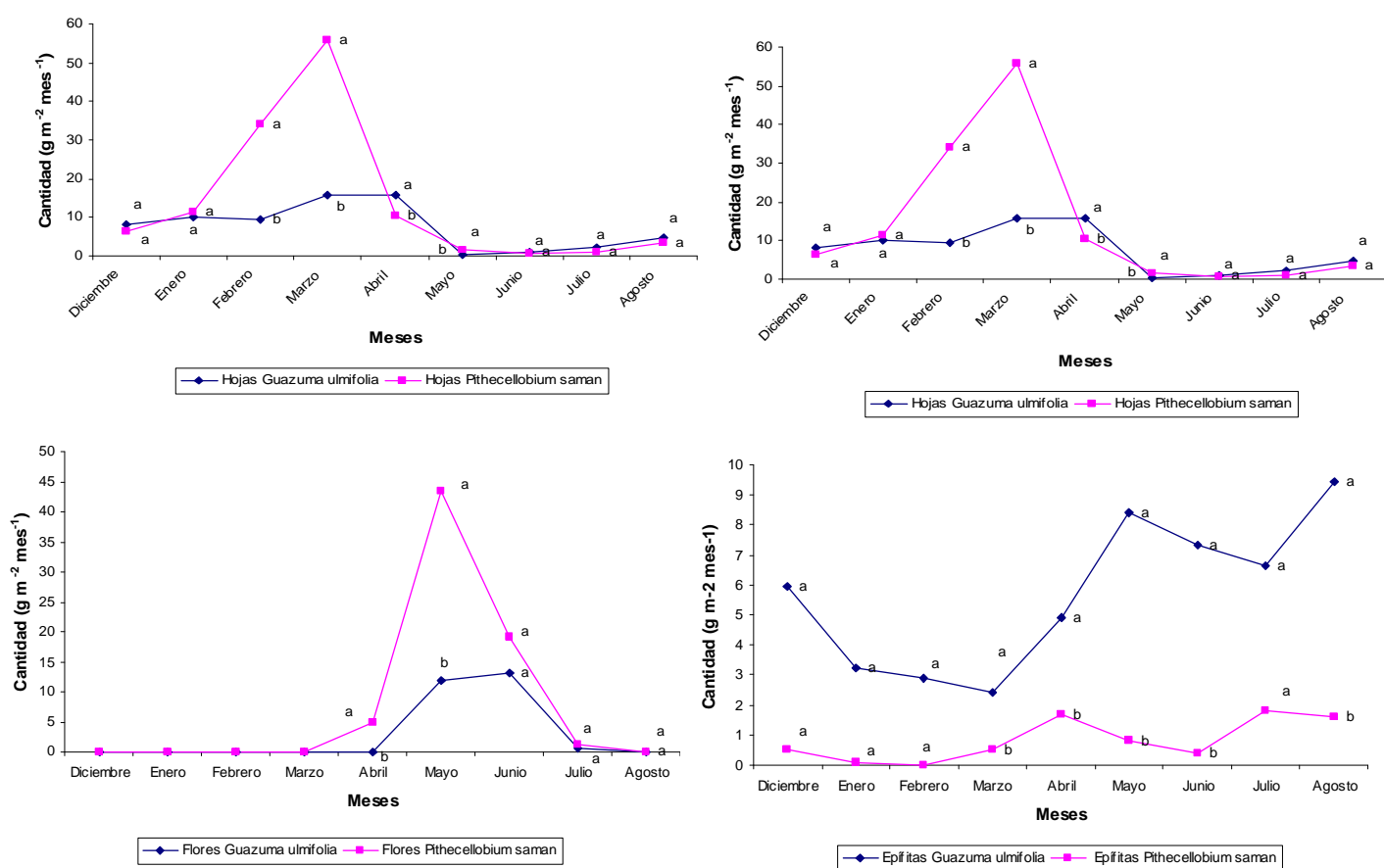
Sin embargo, dado que no hubo replicaciones para la prueba de contraste del tipo de pastura no se puede saber con seguridad si todas estas diferencias son debido a las condiciones particulares de cada sitio mencionadas, o se relacionan con otros factores no estudiados (manejo, enfermedades, entre otros).

4.5 Efecto de las especies en la producción de hojarasca

Debido a diferencias fisiológicas entre las especies (*P. saman* y *G. ulmifolia*), se observaron ciertas diferencias entre las épocas en cuanto a la producción de ciertos componentes de la hojarasca (Figura 8). En las épocas de menor producción de hojarasca total (diciembre, enero, junio, julio, agosto), el componente hoja se comporta de manera similar en las dos especies (*G. ulmifolia* y *P. saman*), pero en la temporada de mayor producción de hojarasca (febrero a

mayo) se presenta diferencias entre ambas especies (Anexo 7 y 8; $p < 0,05$). En febrero, marzo y mayo *P. saman* produce más hojas, solamente en abril *G. ulmifolia* produce más. Las flores mostraron diferencias en abril y mayo los cual se debe a que el *P. saman* empezó a producir flores primero.

Por otra parte, *G. ulmifolia* produjo significativamente mas frutos que *P. saman*, situación acentuada por que *P. saman* no fructificó este año. Asimismo, *G. ulmifolia* fue la especie arbórea que produce la mayor cantidad de epífitas (Figura 8).



4.6.1 Interacciones punto cardinal* posición

A: Hojas

El análisis estadístico detectó interacciones significativas ($p < 0,0001$) entre la posición (bajo la copa y fuera de copa) y los puntos cardinales en las épocas de mayor producción de

hojarasca de hojas (febrero, marzo, abril), tanto para *G. ulmifolia* como para *P. saman*, siendo las posiciones que más recibían material la del oeste y sur (Anexo 10). Esto concuerda con el hecho que los vientos que predominan en la región provienen del Noreste (INETER 2004). Dentro de las trampas redondas que están bajo de la copa de los árboles, las que se encuentran al oeste fueron las que recibieron mayor cantidad de hojarasca de hojas (39%), seguida por el sur (25%), y las posiciones que menos captaron fueron las del norte (21%) y este (15%). Esta tendencia se presenta todavía más fuerte en las trampas que se encuentran fuera de la copa de los árboles, donde el oeste recibió el 58%, el sur el 31%, el norte 8% y el este apenas 3%. Estos datos indican que al norte y al este de la copa la influencia de la hojarasca de hojas es mínima.

B: Flores

La producción de flores presentó interacciones entre puntos cardinales y la posición, durante abril y mayo para ambas especies ($p < 0,05$). Al igual que ocurre con las hojas, el oeste recibe la mayor cantidad de flores (29% del total), seguido por el sur con 27%, el norte con 27% y el con este con el 17%. La tendencia se acentúa fuera de copa: el oeste capta 71%, el sur 24%, el norte 3 y el este el 1,3%.

C: Ramas

La distribución de las ramas fue más impredecible que los demás componentes de la hojarasca, debido a que su caída dependía de muchos factores como son la muerte de ramas, vientos, posición dentro de la copa y la cantidad de epífitas. Solo se detectaron diferencias significativas en el mes de diciembre para *P. saman* ($p = 0,0222$), hallándose que bajo de copa la posición norte capta la mayor cantidad de ramas 45%, seguido del sur con 22%, el este con 22% y el oeste con 11%. En el mismo mes de diciembre, fuera de copa no cayeron ramas al norte, mientras los valores para las demás posiciones eran muy bajos.

Sin embargo, en los meses restantes las ramas presentaron patrones de caída diferentes, indicando que no hay un patrón definido y que la diferencia encontrada en diciembre fue un hallazgo fortuito. En cambio, el raquis, frutos y epífitas no presentaron interacción entre los puntos cardinales y la posición.

4.6.2 *Interacción especie*punto cardinal*

El análisis estadístico detectó diferencias para la caída de hojas y flores en la interacción especie por punto cardinal (Anexo 11). Básicamente, las tendencias observadas son las mismas que las de la interacción posición*punto cardinal: el oeste recibe mayor cantidad de aquellos componentes influenciados por el viento (hojas y flores), seguido por el sur, norte y este. Los demás componentes, por ser más pesados, no muestran diferencias. Diferencias fisiológicas entre las especies en la época de caída de las hojas o la producción de flores causan la interacción especie * punto cardinal, como se detalla a continuación.

A: hojas

El análisis estadístico detectó diferencias para la caída de hojas en la interacción especie por punto cardinal en los meses de abril, mayo y agosto ($p < 0,05$). En abril, la especie que más producía hojas era el de *G. ulmifolia* y en la posición oeste con 33 g, seguida de sur con 16 y el norte con 9 y este con 5 g m⁻². La especie *P. saman* produjo para las mismas direcciones 9, 6, 2 y 2 g m⁻², respectivamente. A pesar de que el pico de producción se dio entre febrero y marzo, en estos meses no se presentó la interacción especie*punto cardinal, debido a que eran tanta la caída de hojarasca en todas las trampas que no se podía distinguir el efecto. En cambio, cuanto la producción de hojarasca disminuyó por diferencias fisiológicas entre las especies, se mostraron algunas tendencias. En el oeste en abril *G. ulmifolia* produce casi cuatro veces más hojas que el *P. saman*. En cambio, en mayo la especie que más produce hojas es el *P. saman* (dos veces más de lo que produce el *G. ulmifolia*), aunque los valores son muy bajos, debido a que estaban renovando hojas. Las posiciones que recibían más hojarasca de hojas en orden de importancia eran las del oeste, norte y este. Esto se debe a que los árboles de *G. ulmifolia* dejaron de producir hoja en mayo. Sin embargo, en agosto el *G. ulmifolia* vuelve a ser la especie que más hojas produce, siguiendo siempre el mismo patrón, la mayor producción se presentó en el oeste, seguida del sur, norte y el este.

B: flores

Las flores mostraban interacción entre especie y posición en los meses picos de producción que fueron en abril ($p=0,0067$) y mayo ($p=0,0232$). En abril solo *P. saman* produjo flores y la mayor parte cae al oeste, seguido por el norte, sur y por último el este (Cuadro 10). En cambio, en mayo las dos especies estaban produciendo, pero la que más producía era

siempre *P. saman* en el oeste, después el sur, el norte y el que menos capta es de nuevo el este (62, 48, 41, 24 g m⁻² mes⁻¹, respectivamente). *G. ulmifolia* produjo menos, siguiendo casi el mismo orden de direcciones, la que más recibió fue el oeste, luego el norte, sur y este. En junio no se detectaron interacciones entre especie y puntos cardinales (p=0,67), aun cuando el pico de producción de flores de *G. ulmifolia* se presentaba en La Estrella en el mes de junio y *P. saman* casi no producía nada. Esto se debe a que en esta época había tanta producción de flores que cualquier posición captaba bastante, por ello es que no se detectaron diferencias entre los puntos cardinales y la especie.

Cuadro 10. Producción de hojarasca en las dos fincas en el periodo de nueve meses por componente y por punto cardinal.

Punto cardinal	Hojas	Raquis	Rama	Flor	Frutos	Epífitas	total	%
<i>Pithecellobium saman</i>								
	g MS/ m ²							
Este	60,4	43,8	35,6	64,8	3,7	9,9	218,2	15,3
Norte	84,9	43,3	52,3	95,5	13,5	12,9	302,3	21,3
Oeste	258,7	58,9	46,8	149,3	22,2	12,7	548,6	38,6
Sur	147,5	50,6	32,7	104,9	7,7	9,3	352,7	24,8
Total	551,5	196,6	167,4	414,4	47,1	44,8	1421,8	100,0
<i>Guazuma ulmifolia</i>								
Este	41,5	0,0	34,7	30,3	61,9	57,1	225,4	15,9
Norte	59,9	0,0	41,9	35,9	108,2	67,4	313,3	22,0
Oeste	215,4	0,0	60,7	54,2	120,6	104,2	555,1	39,0
Sur	89,7	0,0	37,0	34,2	71,9	78,2	311,1	21,9
Total	406,5	0,0	174,3	154,6	362,6	306,9	1404,9	98,8

El raquis, la rama, los frutos y las epífitas no presentaron interacción de especie por punto cardinal, por ser más pesados caen sobre todo por debajo de la copa y son poco influenciados por los vientos.

4.6.3 Interacción especie*posición

El análisis estadístico además detectó algunas interacciones entre especie y posición (bajo copa y fuera copa).

La hoja presentó interacción entre especie y posición en los meses de mayor producción, los cuales son febrero (p=0,010) y marzo (p=0,002) (Anexo 12), siendo la mejor posición para captar hojarasca bajo de la copa de los árboles y la especie que más produce *P. saman*. Por ejemplo, en marzo en la posición bajo de copa *P. saman* produjo 53 g m⁻² mientras

que *G. ulmifolia* 20 g m⁻². De igual manera, en este mismo mes las trampas que están fuera de copa en *P. saman* captan más hojas que las de *G. ulmifolia* en la misma posición (25 contra 12 g m⁻², respectivamente).

La flor presentaba interacción entre especie y posición en abril, mayo, junio y julio ($p < 0,05$), con la misma tendencia que las hojas, produciendo *P. saman* en el mes de mayo 3,4 veces más flores que *G. ulmifolia* en la posición bajo de copa, mientras que para este mismo mes fuera de copa produce 6 veces más.

Los frutos mostraron una interacción especie por posición en los meses diciembre y enero, marzo, abril, mayo y junio. Sin embargo, este resultado es indudablemente influenciado por la muy baja producción de frutos (todos vanos) de *P. saman* en 2006. La especie que más producía en el 2006 fue el *G. Ulmifolia* y debido al peso del fruto, su caída se concentra bajo la copa.

Las ramas presentaron interacción especie por posición en diciembre ($p = 0,020$), siendo bajo de copa de *P. saman* y fuera de ella las trampas que mayor cantidad recoge de este componente (8 y 2 g m⁻² mes⁻¹, respectivamente); en cambio, *G. ulmifolia* produce solamente 4 bajo de copa y 3 g m⁻² mes⁻¹ fuera de copa. Este evento fue fortuito, ya que se presentó solamente durante un mes y no se puede generalizar. El raquis presentó diferencias ($p < 0,05$) en febrero, marzo y abril, siendo bajo de la copa de *P. saman* la posición que más capta raquis (97%), en comparación con fuera de copa (3%).

Las epifitas presentaban interacción en todos los meses ($p < 0,05$), siendo la especie que más produce el *G. ulmifolia* y el área bajo de copa donde se presentaban los mayores aportes.

4.7 Distribución espacial de la hojarasca observada en trampas lineales

La presentación de los resultados que muestran con mayor detalle la distribución espacial de la hojarasca esta basada en las mediciones realizadas en una trampa lineal por especie y por tanto no tiene validez estadística. Sin embargo, permite estimar la producción total de hojarasca por árbol y su distribución espacial en toda el área de influencia, a diferencia

de las trampas redondas que solamente miden la caída de hojarasca a 3 metros del borde de la copa.

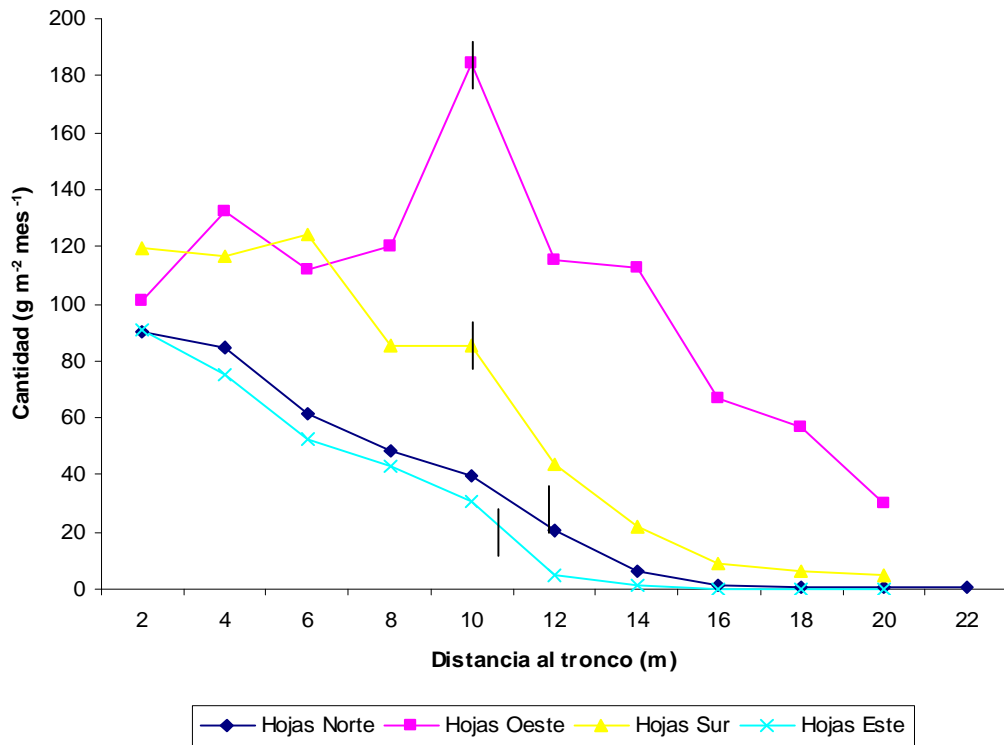
4.7.1 *Pithecellobium saman*

Se observó una fuerte influencia del viento en la distribución de la hojarasca de hojas. Al oeste, en las zonas cercanas al tronco la producción de hojas era alta, pero no fue la máxima; la mayor cantidad de hojarasca caía cerca del borde de la copa. Fuera de la copa, la cantidad de hojarasca de hojas sigue alta hasta una distancia 1,5 veces la altura del árbol. Al sur se mostraba una tendencia similar, pero menos pronunciada. Inmediatamente después del borde de copa empezó a decaer (Figura 9). Al norte y este la máxima cantidad caía cerca del tronco, fuera de la copa la caída de hojas es baja (cae en forma aproximadamente lineal). Las trampas del oeste y el sur recibieron hojarasca hasta la última trampa (entre 20 y 21 m del tronco, aproximadamente 2 veces su altura), aunque al sur ya era poca la proporción que se captaba. Al oeste la caída a 20 metros del tronco todavía es apreciable, indicando que se requieren trampas adicionales para conocer con mayor precisión la distribución espacial en esta dirección. Sin embargo, aun con estas deficiencias se estima que la cantidad no captada de hojas es menor que el 5%. En cambio, en las direcciones este y norte las últimas trampas no captaban hojarasca, indicando que la influencia de la hojarasca en este sector es nula. Estos resultados concuerdan con los encontrados en las trampas redondas los que presentaban diferencias ($p < 0,0001$) en cuanto a la distribución de hojas y flores con respecto a los puntos cardinales (Anexo 13), siendo el oeste y el sur las posiciones que más hojarasca captaban y el norte y este las que menos recibían (Cuadro 10).

Extrapolando los datos de las trampas a toda la superficie influenciado por la caída de hojas, se estimó que el 41% de la hojarasca total de hojas de *P. saman* caía en el cuadrante Sur – Oeste (Figura 10), seguida por el cuadrante Norte-Oeste (34%), Sur- Este (16%) y la que menos recibía era el Norte Este (9%). Del total de las hojas producidas se estima que el 45% caía en el área fuera de la copa del árbol.

La influencia de los vientos en la distribución de hojarasca esta demostrada en una investigación realizada en Arizona sobre la distribución de nutrientes en la prados desérticos dominados por *Prosopis velutina*, donde encontraron que las trampas que mayor cantidad de

hojarasca eran las que se encontraban al norte (35%) y al este (22%) a mitad del radio de copa, esta tendencia se debía a que los vientos predominantes en la zona provenían del sur y el oeste (Wilson y Thompson 2005).



|=Raya vertical señala el borde de copa

Figura 9. Distribución de hojas de *Pithecellobium saman* con respecto al tallo.

Las flores son el otro componente influenciado fuertemente por los vientos, con un patrón de distribución similar a las hojas (Figura 10).

En cambio, las ramas y las epífitas no presentaban un patrón de caída definido, por ser componentes más pesados son poco influenciados por el viento (Figura 10).

El componente que más concentraba su caída bajo de la copa son las ramas, solamente el 11% cae fuera de la copa (Figura 10). De igual manera, las trampas redondas no

encontraron diferencias significativas en cuanto a los puntos cardinales para la distribución de ramas, raquis, epífitas, frutos ($p > 0,05$).

Por lo tanto, los componentes que más influencia podrán tener en las pasturas alrededor de los árboles son hojas y las flores. Esto concuerda con los resultados reportados en literatura, la cual expone que la distribución de hojas se ve influenciada por los vientos y por la altura de los árboles que las producen (Schroth 2003). Por otro lado, la deposición de hojarasca (componente hojas) en las trampas esta correlacionada con la distancia al tronco del árbol ($p < 0.05$) en todas las posiciones. De la hojarasca total un 64% cae bajo de la copa de *P. saman*, lo cual indica su poca influencia en las áreas fuera de la copa.

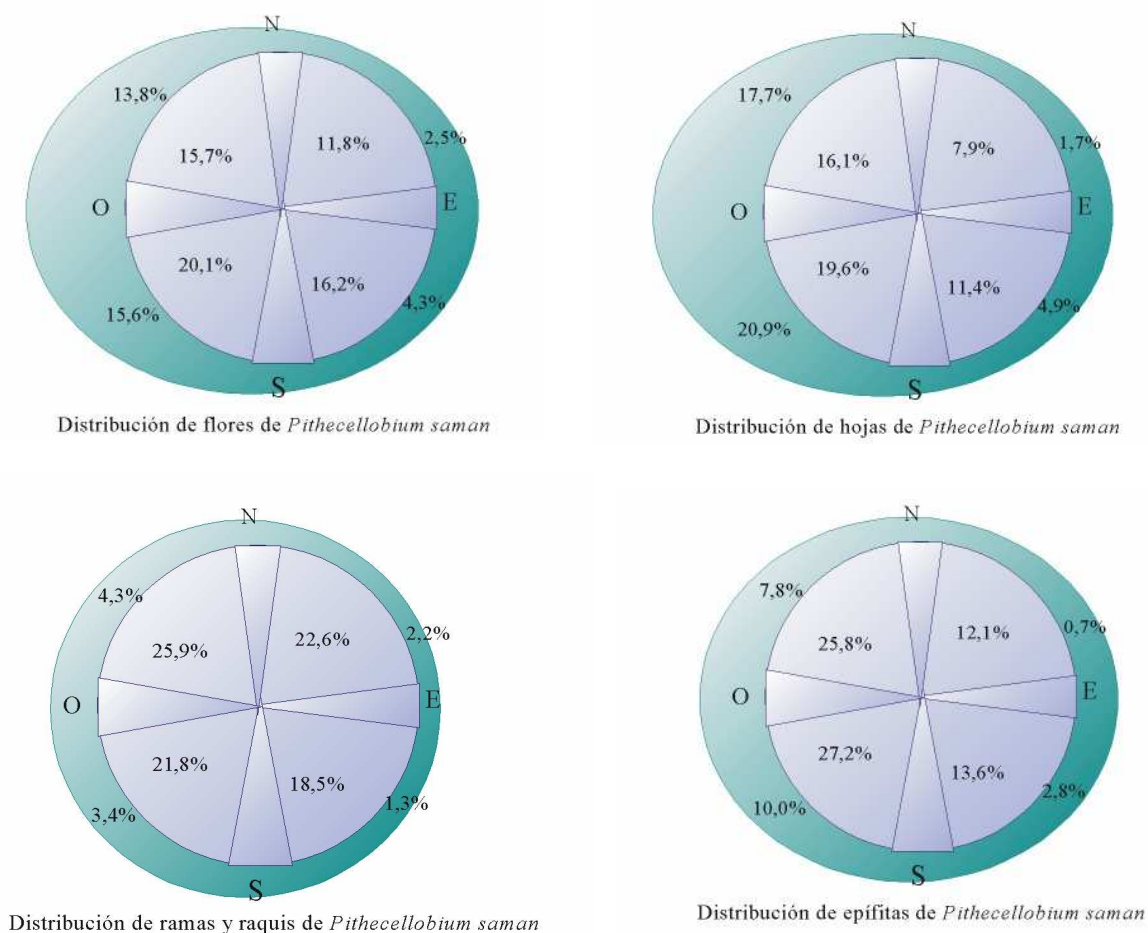


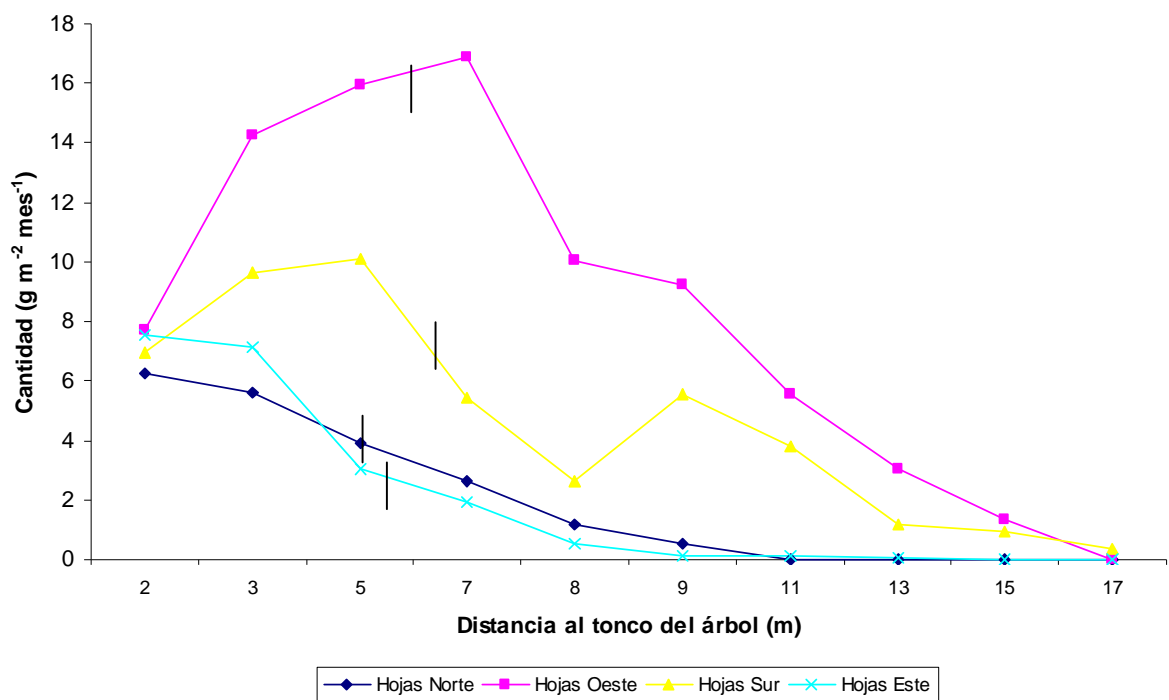
Figura 10. Distribución de la hojarasca de *Pithecellobium saman* por componente.

Circulo interno=área bajo de la copa. Circulo externo=áreas que están fuera de la copa y reciben influencia de la hojarasca.
N=norte, S=sur, O=oeste, E=este.

4.7.2 Distribución espacial de la hojarasca de *Guazuma ulmifolia*

Al igual que *P. saman*, los datos de la trampa lineal indicaban que la distribución de las hojas se ve altamente influenciada por los vientos. La mayor caída de hojas de *G. ulmifolia* ocurrió en las áreas cercanas al borde de copa al lado oeste y en menor grado al sur (en el caso del árbol de *G. ulmifolia* monitoreado entre los 3 y 6 m del tronco). Las direcciones que más hojarasca de hojas recibían eran el oeste y en menor grado, el sur (Figura 11 y anexo 14). De igual manera, las trampas redondas no encontraron diferencias significativas en cuanto a los puntos cardinales para la distribución de ramas, epífitas y frutos ($p > 0,05$).

Tanto en el oeste como en el sur se encontraban hojas en las últimas trampas (entre 16 y 17 m del tronco), siendo el oeste la que mayor cantidad presentaba, indicando al igual que en *P. saman* la necesidad de poner más trampas en estas direcciones para poder captar mejor la distribución espacial de la hojarasca de estas especies. Al norte y al este la cantidad de hojas decrecía conforme se alejaba del tronco, y a unos 5 metros fuera de la copa son prácticamente 0.



=rayas negras verticales indican donde se encuentra el borde de copa

Figura 11. Distribución espacial de hojas de *Guazuma ulmifolia* con respecto al tallo.

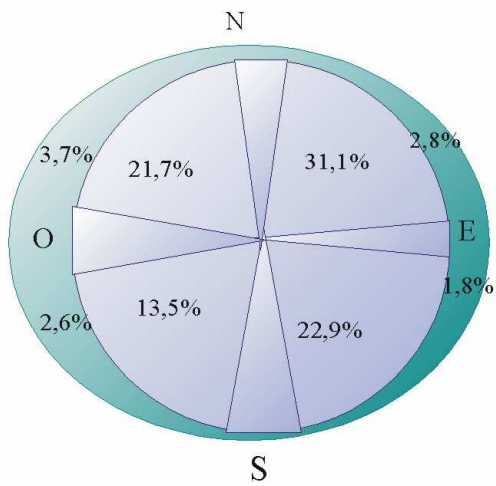
Con las trampas redondas se encontraron diferencias significativas para todos los componentes de la hojarasca de las dos especies (*G. ulmifolia* y *P. saman*) en cuanto a la posición ($p < 0,0001$) durante todos los meses de evaluación; es decir, que las cantidades que caían bajo de copa por m^2 eran mucho mayores a las que caían fuera de copa para los componentes más pesados como los frutos, flores, ramas, y las epífitas. En cambio, las hojas se veían más influenciadas por el viento, especialmente las de *G. ulmifolia*. Igual tendencia muestran las estimaciones hechas con base en las mediciones de las trampas lineales, las cuales indicaban que la mayor caída de las hojas ocurría en áreas fuera de copa (Figura 12). La dirección que mayor aporte recibía era el cuadrante sur - oeste con 42,2% (13,7 bajo de copa y 28,5 fuera de copa), seguida del norte - oeste con 34%, el cuadrante que menor cantidad captaba era el norte - este (7,8%). Al comparar las especies se encontró que el 55% de las hojas de *P. saman* caían bajo de copa y que apenas el 38% de las hojas de *G. ulmifolia* caían bajo de copa. Esta diferencia pudiera ser debido a la forma y el tamaño de la hoja, al tener *G. ulmifolia* una hoja más extendida tiene mayor probabilidad que el viento se la lleve lejos, debido a que tiene mayor superficie donde el viento puede actuar, esto coincide con las observaciones realizadas por Welbourn *et al.* (1981) quien encontró que el área grande de la hoja y su peso liviano hace que el viento se lleve más lejos.

Cuadro 11. Distribución espacial de la hojarasca de Pithecellobium saman y Guazuma ulmifolia en potreros de Muy Muy, Nicaragua.

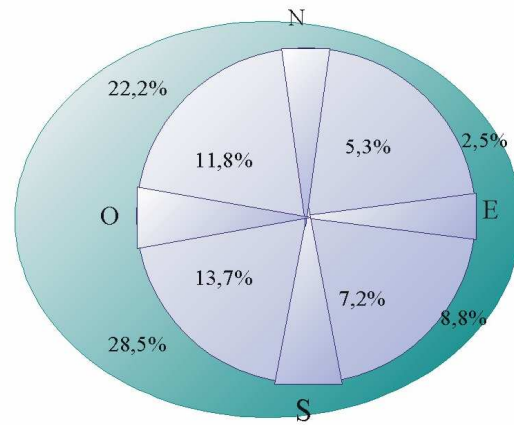
Especie	Posición	Componente de la hojarasca (%)				
		Hojas	Ramas	Flores	Frutos	Epífitas
<i>Pithecellobium saman</i>	Bajo copa	55	89	64	99	79
	Fuera copa	45	11	36	1	21
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Bajo copa	38	80	79	89	85
	Fuera copa	62	20	21	11	15

Nota: cálculos realizados con las trampas lineales.

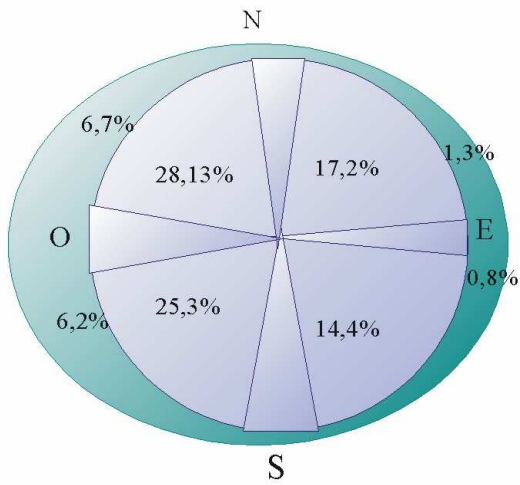
Las ramas de *G. ulmifolia* constituían un aporte importante (13% de la hojarasca total); sin embargo, la influencia de este componente se concentraba alrededor del tallo de los árboles (80% del total). Por ser muy pesado no permite que el viento lo traslade.



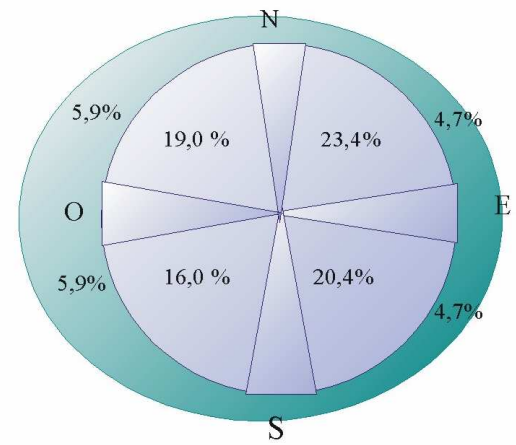
Distribución de frutos de *Guazuma ulmifolia*



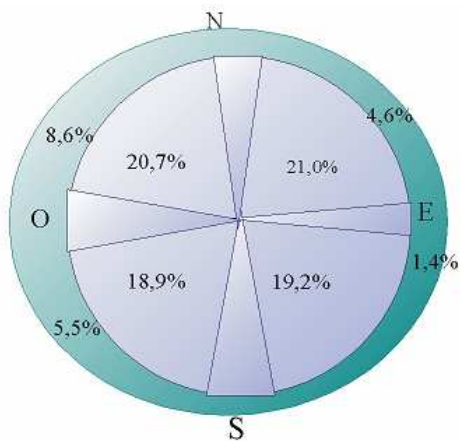
Distribución de hojas de *Guazuma ulmifolia*



Distribución de epífitas de *Guazuma ulmifolia*



Distribución de flores de *Guazuma ulmifolia*



Distribución de ramas de *Guazuma ulmifolia*

Figura 12. Estimación de la distribución espacial de la hojarasca de *Guazuma ulmifolia* por componente.

Al contrario a *P. saman*, ninguno de los otros componentes de la hojarasca mostró una fuerte influencia de los vientos, y la estimación de la cantidad total por componente que se distribuye fuera de la copa varió entre 11 y 21% . Además, estos componentes mostraban una tendencia (mucho) menos clara en cuanto a la dominancia de las direcciones oeste y sur, tanto fuera de la copa como por debajo de ella. En general, este se debió al peso de estos componentes que disminuyó la influencia del viento y aumenta el influjo de otros factores, tales como estructura de copa, presencia de ramas con relativamente muchos frutos, daños, entre otros. Un ejemplo se observó en el caso de las flores que presentaban relativamente al este una alta caída de hojarasca (diferente al patrón de la hoja). Esto se debe a que se observó que había una rama altamente productiva en esta parte de la copa. Al inicio, se esperaba que las flores tendrían una distribución similar a la de las hojas, pero no fue así, esto se debe a que las flores son pesadas, y sobre todo se vuelven más pesadas con las lluvias que se dieron de manera constante durante esta fenofase.

En el caso de los frutos se presenta una caída más alta en los cuadrantes norte-este (34%) y sur-este (25%), lo cual esta correlacionado con la presencia de ramas que producen mayor cantidad de flores. Los frutos son los que menor influencia tienen afuera de las copa del árbol (11%).

Las epifitas presentaban un patrón de distribución similar pero menos pronunciado (las cantidades que caen fuera de copa son pocas) que el de las hojas, al presentarse en mayor cantidad al noroeste y al suroeste; esto se debe a que dentro de las epifitas había unas que tenían hojas finas que vuelan con el viento, pero también existían otras que son muy gruesas y grandes que caen principalmente debajo de la copa.

La hojarasca (componente hoja) de *G. ulmifolia* tiene mayor influencia en las áreas fuera de copa que el *P. saman* (62 y 45%, respectivamente). En cambio, las flores de *P. saman* tienen más influencia en áreas fuera de copa (36%), mientras que *G. ulmifolia* solo el 21% llega a estas áreas.

Wilson y Tompson (2005) en dos sitios estudiados en Arizona en unos prados desérticos de *P. velutina* encontraron que la distribución de hojarasca de esta especie se da

acorde a la posición con respecto a la copa de los árboles y que esta se localiza de forma asimétrica, presentándose la mayor cantidad de hojarasca en el norte y este del tallo del árbol; esto se da acorde con la dirección del viento. Estos resultados están acorde con lo que Welbourn *et al.* (1981) reportan en una investigación sobre el efecto de la pendiente y el viento sobre la producción de hojarasca para bosques de madera dura en Nueva York, donde encontraron que la posición que tenía mayor cantidad de hojarasca era el sureste, porque el viento predominante venía del noroeste. Al estar influenciada la distribución de la hojarasca por el viento, se presentaron diferencias significativas en la cantidad de nutrientes que retomaron al suelo en las distintas posiciones que están influenciadas por los árboles y por consiguiente la productividad del sitio cambio acorde a los aportes recibidos. Las cantidades de N, Ca, Mg en el suelo estaban correlacionadas con la posición ($r=0,68$, $0,87$ y $0,81$, respectivamente).

Los patrones de distribución de hojarasca indicaban que el 68% de la hojarasca total de *G. ulmifolia* cayó fuera de copa, y que el 32% cae bajo de copa. Esto indica que la deposición de la hojarasca esta concentrada en las áreas cercanas a la copa, por lo que su influencia en las pasturas es limitada. Se podría aumentar la densidad arbórea y fomentar la distribución homogénea los árboles, pero esto no garantiza que la hojarasca llegue a todas las áreas de pasto para que todos se beneficien de su aporte de nutrientes. Además, no se puede aumentar mucho la densidad de árboles porque se afecta el desarrollo de las pasturas.

4.8 Correlaciones entre las variables dasométricas y la producción de hojarasca

En el análisis de correlación se encontró que el DAP esta correlacionado positivamente con el área de copa ($p<0,0001$) y que el área de copa esta correlacionada con la altura ($p=0,03$). Sin embargo, no se halló relación del DAP con la altura ($p=0,22$).

Cuadro 12. Correlaciones entre la producción de hojarasca y características dasométricas de los árboles.

Nota: hay correlación cuando $p < 0.05$.

Componente	DAP		Área de copa		Altura		Profundidad de copa	
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Pitecellobium saman</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Pitecellobium saman</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Pitecellobium saman</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Pitecellobium saman</i>
Hoja	0.39	0.06	0.08	<0.0001	0.67	0.11	0.38	0.43
Ramas	0.69	0.31	0.50	0.07	0.14	0.11	0.10	0.21
Flor	0.96	0.03	0.55	0.01	0.73	0.38	0.88	0.47
Fruto	0.80	0.04	0.02	<0.0001	0.39	0.12	0.23	0.57
Raquis		0.23		0.02		0.01		0.48
Epífitas	0.55	0.04	0.90	0.01	0.09	0.29	0.27	0.42

La producción de hojas, raquis, frutos y epífitas de *P. saman* estuvieron correlacionadas con el área de copa, las ramas son las únicas que no presentaron relación con esta variable dasométrica (Cuadro 12). El DAP presentó correlación con la producción de flores, frutos y epífitas, a diferencia de las hojas, raquis y ramas que no estaban influidas por esta. La altura de *P. saman* solamente estaba correlacionada con el raquis.

Ninguno de los componentes de la hojarasca (hojas, ramas, flores, frutos y epífitas) de *G. ulmifolia* estuvo correlacionada con el DAP. La producción de frutos de *G. ulmifolia* esta correlacionada con el área de copa ($p=0,02$); en cambio, la producción de las hojas, ramas, flores y epífitas de *G. ulmifolia* no estaban relacionadas con área de copa. En ambas especies las hojas, ramas, raquis, flores, frutos y epífitas, no están correlacionadas con altura, ni con el área y profundidad de copa, lo que quiere decir que su producción es independiente de estas características.

4.9 Concentración de nutrientes en la hojarasca de *P. saman* y *G. Ulmifolia*

En el cuadro 13 se presentan los promedios de las concentraciones de nutrientes medidos en los componente de la hojarasca de las dos especies estudiadas entre diciembre 2005 y agosto 2006. Los datos disponibles de concentración de nutrientes por especie y por componente no indicaron diferencias entre las fincas, razón por la cual en el Cuadro 13 se han promediado los datos por especie. Esto concuerda con Wilson y Tompson (2005) quienes encontraron que la concentración de N y P en la hojarasca de *P. velutina* en los dos sitios de su estudio era similares.

Entre los distintos componentes de la hojarasca de *G. ulmifolia* las hojas tenían la más alta concentración de Ca, seguidas por las epífitas y ramas. Acorde con Giraldo (1995) que encontró que las concentraciones de nutrientes cambian en función de los componentes de la hojarasca, los que presentaban mayor cantidad de nutrientes eran las hojas, seguidas de ramas y tallos. Sin embargo, en *P. saman* la situación es muy diferente, ya que el raquis y ramas tenían una concentración muy superior a los demás componentes.

Cuadro 13. Concentración promedio (% de peso seco) de nutrientes en los diferentes componentes de la hojarasca de Guazuma ulmifolia y Pithecellobium saman recolectadas en forma mensual entre diciembre 2005 y agosto 2006.

Componentes hojarasca	Número muestra		Nutrientes (%)											
			Ca		Mg		K		P		N		Carbono Total	
	Gen	Gua	Gen	Gua	Gen	Gua	Gen	Gua	Gen	Gua	Gen	Gua	Gen	Gua
Hojas	15	18	1,4	3,1	0,15	0,40	0,5	0,8	0,10	0,15	2,7	1,4	51,7	46,0
Raquis	5		3,6		0,30		0,5		0,10		1,5		22,5	
Ramas	11	13	3,1	2,6	0,15	0,20	0,4	0,5	0,05	0,10	1,5	0,9	46,6	45,7
Ramas grandes	2	1	2,2	0,9	0,05	0,05	0,3	0,2	0,05	0,05	1,1	0,3	47,6	23,5
Flores	6	4	0,7	1,3	0,10	0,40	1,1	1,2	0,20	0,30	3,6	2,1	48,4	46,2
Frutos	3	7	0,4	1,1	0,10	0,20	1,3	1,6	0,20	0,25	3,1	1,3	47,2	43,3
Epífitas	6	16	1,5	3,1	0,20	0,45	1,4	2,3	0,15	0,35	1,4	1,8	46,8	43,7

*Gen= *P. saman*, Gua= *G. ulmifolia*

En *G. ulmifolia* el Mg se encontraba en mayor porcentaje en flores, hojas y epífitas que en *P. Saman*, mientras que en los demás componentes las dos especies tenían concentraciones similares.

De igual manera, *G. ulmifolia* tenía concentraciones de K ligeramente superiores al *P. saman* en hojas, frutos y epífitas y concentraciones similares en los otros componentes de la hojarasca.

El P en cambio, mostraba concentraciones mayores en *G. ulmifolia* solamente en flores y epífitas, mientras los demás componentes no muestran diferencias importantes.

En las dos especies, la mayor concentración de N la tenían las flores, seguida por las epífitas, hojas y frutos en *G. ulmifolia* y frutos, hojas y epífitas en *P. saman*. Estas observaciones coinciden con Cuevas y Lugo (1998), quienes determinaron en su estudio sobre retorno de nutrientes en la hojarasca de diez árboles tropicales que las partes reproductivas

eran importantes. Aunque estas no fueran el componente de la hojarasca que más aporta cantidad de material senescente, al igual que en este estudio, son significativos porque tienen altas concentraciones de nutrientes. Las ramas eran las que tenían la menor concentración de N.

La producción de frutos de ambas especies puede ser alta, pero estas son muy consumidas por los animales, lo que implica que parte de los nutrientes que están en ellas son utilizados por los animales y el resto lo depositan en las heces. Lo que conlleva a que los nutrientes aportados por este componente de la hojarasca puedan ser llevados a otros sitios, lejos de la influencia de los árboles. Esto puede traer beneficios ya que pueden promover que los nutrientes queden más dispersos en el potrero. Aunque también puede generar concentración en ciertas partes del potrero (fuentes de agua, comederos), donde no pueden ser aprovechados por las pasturas.

Las concentraciones de C total no variaron mucho entre los componentes, pero tendían a ser ligeramente más altas en las hojas, ramas y flores. Asimismo, eran mayores en *P. saman* que en *G. ulmifolia* en todos los componentes.

En ambas especies, las ramas grandes eran las que presentan la menor concentración de N, P y K, y un alto contenido de Ca; esto porque son tejidos lignificados pobres en nutrientes (Cuevas y Lugo 1998) (Cuadro 13).

El porcentaje de proteína cruda (PC) de los frutos de *P. saman* encontradas en el presente estudio era de 19%, la cual es mayor a la reportada por Durr (2001) para vainas completas de *P. saman* (14 y 18%). Este valor es alto, a pesar de ser frutos vanos, sin semilla, debido a que el mismo autor mencionado anteriormente expone que las semillas solas tienen un alto contenido de proteína cruda, la cual oscila entre el 30 y 37%. Por otro lado, la PC de los frutos de *G. ulmifolia* era de 7,8%; este valor es ligeramente superior lo que han encontrados otros estudios (6,8%) (CATIE 1991).

Las epífitas que se encontraban en *G. ulmifolia* presentaban concentraciones de nutrientes más altas que *P. saman*; esto puede deberse a que las diferencias en especies de epífitas presentes en ambas especies arbóreas.

De todos los nutrientes y componentes estudiados *G. ulmifolia* tenía las concentraciones más altas en Mg, K, P y Ca con excepción de las ramas. *P. saman*, en cambio tiene las mayores concentraciones de C y N, este último indudablemente relacionado con el hecho de pertenecer al grupo de las leguminosas.

Las demás diferencias en las concentraciones de nutrientes en los componentes de la hojarasca de las dos especies (*P. saman* y *G. ulmifolia*) se debían a otros factores como el uso eficiente de nutrientes de cada especie: las especies que tienen alta reabsorción de nutrientes presentan bajas concentraciones de nutrientes en la hojarasca (Hireman *et al.* 2001). Los datos disponible sugieren que *P. saman* utiliza los nutrientes escasos (todos menos N) en forma más eficiente que el *G. ulmifolia*. Una situación similar fue encontrado por Galicia *et al.* (2002) quienes en un estudio bajo condiciones tropicales en México evaluaron dos especies arbóreas en praderas de *Panicum maximum* y *Cenchrus ciliaris*, determinando que las especies arbóreas tuvieron diferencias en la dinámica de nutrientes. *Cordia elaeagnoides* presentó una mayor concentración de P en las hojas fresca y en la hojarasca en comparación de *Caesalpinia eriostachys*; es decir, que esta misma especie favorece una mayor circulación de P al suelo. El poco aporte de P de *C. eriostachys* se debe a que esta hace un uso más eficiente de elemento.

Aunque por falta de repeticiones no se puede comprobar en forma estadística, parece existir un efecto entre los meses en la concentración de nutrientes para algunos de los componentes de la hojarasca. Las flores de *P. saman* difieren en el contenido de K durante el mes de mayor producción de flores (abril) tenía 1,71% de K, bajando a 1,17% en mayo y en junio alcazo a penas el 0,72% (Anexo 15). El Ca muestra una tendencia contraria ya que aumenta su concentración al aumentar la edad de las flores: de 0,4% en abril a 0,8% en junio. Las flores diferían también en cuanto al C total siendo mayor en junio 49% en comparación con respecto a mayo y abril (48 y 47% respectivamente). Esto probablemente se debe a una acumulación residual ya que hay translocación de los otros nutrientes.

Las epífitas presentaban mayor contenido de Mg en agosto (0,5%) que en los otros meses evaluados (promedio 0,1%), posiblemente por una variación en las especies de epífitas que conformaron la hojarasca en este mes (mas orquídeas y menos bromelias).

Las hojas de *P. saman* mostraron ligeros cambios en las concentraciones de nutrientes a través del tiempo, aunque tampoco fue significativa. El promedio de N durante la época de mayor caída fue de 2,21%, en cambio durante el rebrote de 2,78%. Misma tendencia presentaron el P que pasó de 0,07% a 0,11% y el K de 0,30 a 0,53%, durante los mismos periodos. En cambio, las concentraciones de Ca aumentaron conforme se hicieron más viejas, 1,70% en época de mayor caída y 1,12 en meses de rebrote.

Estos resultados concuerdan con Wilson y Tompson (2005) quienes reportan que existe un efecto estacional en la cantidad de hojarasca producida y la concentración de nutrientes en esta. En su estudio en el sureste de Arizona se presentó la máxima caída de hojarasca de *P. velutina* en el invierno. Además, en esta época los porcentajes de P y N en la hojarasca bajaron en comparación con los que se presentaron en el verano (época de poca caída de hojarasca), lo que sugiere que la reabsorción de P y N es alta en los meses de máxima caída de hojarasca.

En guácimo también se presentaban diferencias (no estadísticamente comprobadas) en la concentración de nutrientes a lo largo de los meses para algunos de los componentes de la hojarasca. En junio, cuando los árboles estaban renovando sus hojas, la concentración de N en las hojas era 1,9%, mientras en abril, en la época de máxima caída de hojarasca, apenas alcanzó el 1,0%.

Al igual que *P. saman*, las flores de *G. ulmifolia* diferían en los contenidos de Ca, siendo mayor en el mes de junio (1,4%) que en mayo (1,0%).

Un comportamiento contrario presentaba el K en los frutos, encontrándose mayores concentraciones de 1,8% en marzo y 1,7% en abril, bajándose a 1,2% en mayo. Probablemente estas diferencias se deben a translocación de K y acumulación residual de Ca.

Asimismo, similar al Mg en *P. saman* las epífitas de *G. ulmifolia*, presentaban diferencias para Ca, Mg y N, siendo agosto el mes que más altas concentraciones presenta.

En general, las menores concentraciones de nutrientes (N, P y K) en hojas, ramas y epífitas coincidían con los meses en que el tejido estaba más seco y en épocas pico de caída de

hojarasca. Esto evidencia la translocación de nutrientes. De igual manera Cuevas y Lugo (1998) encontraron mínimas concentraciones de nutrientes en la hojarasca cuando se presentaba la máxima caída de hojarasca, atribuyendo este comportamiento a la translocación de nutrientes, ya que las hojas verdes tienen mayor concentración de nutrientes que el material senescente. En cambio, el Ca y el Mg aumentan su concentración en la época de mayor caída de hojarasca y la disminuyen cuando los árboles están rebrotando.

Cuadro14 . Concentración de nutrientes en la hoja de Guazuma ulmifolia y Pithecellobium saman en diferentes etapas fenológicas

Finca/tejido	Ca	Mg	K	P	N	Carbono total
Guazuma ulmifolia			%			
Hojas en máxima caída	3,91	0,46	0,71	0,15	1,13	44,24
Hojas renuevos	2,47	0,31	0,75	0,16	1,74	47,03
Hojas senescentes promedio	3,08	0,4	0,75	0,17	1,44	45,99
Hojas frescas	1,88	0,35	1,67	0,2	1,84	46,29
Translocación	-63,69	-12,87	54,88	14,85	21,36	0,63
Pithecellobium saman						
Hojas en máxima caída	1,7	0,16	0,3	0,07	2,21	51,68
Hojas rebrotes	1,12	0,16	0,53	0,11	2,78	51,68
Hojas senescentes promedio	1,39	0,15	0,45	0,11	2,62	51,67
Hojas frescas	0,87	0,2	1,26	0,16	3,19	47,19
Translocación	-60,03	26,25	64,24	32,03	17,8	-9,5
Hojas <i>Pithecellobium saman</i> *	1,84	0,15	1,11	0,16	3,45	

*Fuente: Hunter y Stewart 1993.

En un estudio sobre el contenido de nutrientes foliares en árboles de propósito múltiple en Honduras, encontraron que las hojas maduras de *P. saman* (todavía adheridas a los árboles) tenían 3,45% de N, 0,16% de P, 1,11% de K, 0,15 % de Mg y 1,84% de Ca (Hunter y Stewart 1993). Las concentraciones de nutrientes en la hojas frescas de *P. saman* encontradas en este experimento son similares para P y Mg (0,16, 0,20%, respectivamente); en cambio, los valores para N y Ca reportados en el estudio de Honduras son mucho mayores a los encontrados en este estudio (2,01 y 0,87%, respectivamente); por el contrario K presentó valores más altos que los encontrados en Honduras (1,26%). Estas diferencias en las concentraciones de

nutrientes se pueden deber a que en este estudio los árboles son grandes (9 a 13 m de altura); en cambio en el estudio citado son árboles entre 2 y 3 m de altura. Además las diferencias pueden deberse al muestreo (época de muestreo, posición de las hojas recolectadas).

Al comparar las concentraciones de las hojas frescas con las senescentes, se encontró que *G. ulmifolia* transloca el K (54%), P (15%) y N (21%), en cambio la concentración de Ca, Mg y C total aumenta (63, 13 y 0,6%, respectivamente). En *P. saman* el Mg, K, P y N se translocaban (26, 64, 32 y 18%, respectivamente), el Ca aumentó en un 60% y el CT en un 10% (Cuadro 14). Debido a que *G. ulmifolia* translocaba más N, es que *P. saman* presentaba el mayor aporte. De igual manera *P. saman* translocaba mayor cantidad de P y K, es por ello que su hojarasca presenta bajos contenidos de estos elementos con respecto a *G. ulmifolia*.

4.10 Estimación del aporte total de hojarasca y de la cantidad de nutrientes

En el cuadro 14 se presentan los datos de producción de hojarasca total (hojas, ramas menores a 1 cm, raquis, flores, frutos, ramas grandes y epífitas) por especie. Estos datos se calcularon con las trampas redondas, extrapolando la producción que se da en las cuatro trampas de bajo de copa al área de copa de los árboles; y para fuera de copa se estimó el área de un anillo de 7 m de radio después del borde de copa y en base a las cuatro trampas que estaban a 3 m fuera de copa se extrapoló la producción de hojarasca. Se usaron las trampas redondas debido a que se tienen varias repeticiones, las cuales pueden minimizar la variabilidad en la producción de los árboles. Las trampas largas no se usaron para el cálculo, a pesar de que estas tuvieron mayor precisión en cuanto a los diferentes gradientes de la hojarasca porque no había repeticiones. El supuesto usado con las trampas redondas fue que la deposición de hojarasca cae en forma lineal, pero esto puede subestimar o sobreestimar la verdadera cantidad de hojarasca.

Durante el periodo de estudio, tanto *P. saman* como *G. ulmifolia* producían más hojarasca en La Estrella que en Los Diamantes. Los árboles de *P. saman* en La Estrella producían entre 199 y 606 kg árbol⁻¹ y en Los Diamantes entre 130 y 208 kg árbol⁻¹. Por otro lado, *G. ulmifolia* generó en La Estrella entre 73 y 111 kg árbol⁻¹; en cambio, en Los Diamantes entre 60 y 93 kg árbol⁻¹. Estas diferencias en producción pueden estar relacionadas

con el tamaño, edad y otras características dasométricas de los árboles (Giraldo 1995), además, pueden estar relacionadas con diferencias no estudiadas entre los sitios. Esto concuerda con Wilson y Tompson (2005) quienes encontraron que *P. velutina* producía menor cantidad de hojarasca en su sitio B (con quemas dentro de los 50 años) que en su sitio A (sin quemar en 50 años) debido a que la áreas de copa eran menores en el sitio B.

Cuadro 15. Estimación del aporte de hojarasca y nutrientes de Guazuma ulmifolia y Pithecellobium saman en dos fincas de Muy Muy, Nicaragua.

Especie	Árbol	Altura total (m)	Area de copa (m ²)	Bajo de copa	Fuera de copa	Biomasa total	N	P	K	Mg	Ca
Los Diamantes											
kg MS árbol^{-1**}											
<i>Pithecellobium saman</i>	1	13,7	487	164,4	43,6	208	4,9	0,2	1,4	0,3	4,2
	2	8,7	260	122,6	14,3	136,9	3	0,1	0,8	0,2	2,5
	3	9,9	274	95,4	34,3	129,8	3	0,1	0,9	0,2	3,7
	promedio			127,5	30,7	158,2	3,6	0,2	1	0,2	3,5
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1	13,4	124	69,8	23,4	93,2	1,3	0,2	1,3	0,3	2,4
	2	10,5	119	32,7	27,5	60,2	0,8	0,1	0,7	0,2	1,6
	3	10	143	49,1	21,7	70,8	1	0,1	0,9	0,3	1,8
	promedio			50,5	24,2	74,7	1	0,1	1	0,3	1,9
La Estrella											
<i>Guazuma ulmifolia</i>	4	11,9	159	78,9	25,3	104,2	1,4	0,2	1	0,4	2,7
	5	9,8	118	83,3	27,5	110,8	1,5	0,3	1,4	0,4	5,7
	6	12,9	153	44,9	28,3	73,2	1	0,1	0,6	0,3	2,3
	promedio			69	27	96,1	1,3	0,2	1	0,3	3,6
<i>Pithecellobium saman</i>	4	14,2	430	165,7	82	247,7	5,9	0,3	1,4	0,4	9,6
	5	13	299	141,4	57,7	199,2	4,9	0,2	1,1	0,3	3,8
	6	15	929	505,7	100,1	605,8	15,1	0,7	4	0,9	29
	promedio			270,9	79,9	350,9	8,6	0,4	2,2	0,5	14,1

*Periodo de evaluación de 9 meses

No se encontraron en la literatura datos de producción de hojarasca de *G. ulmifolia* ni de *P. saman*. Sin embargo, en Pinto, Colombia (Giraldo 1995) se estimó la biomasa comestible de árboles dispersos medianos y grandes (fustes entre 1,2 y 2,35 m) de *G. ulmifolia* estaba entre 54 y 74 kg árbol⁻¹. Estos datos dan una idea de la magnitud del aporte potencial anual de hojarasca. Los valores presentados en el estudio de Colombia son mayores a la producción de hojarasca (componente hoja) encontrada en este estudio (27 y 35 kg árbol⁻¹), para árboles con fustes entre 2,18 y 2,6 m. Esto se debe a que en el estudio realizado por Giraldo (1995) cortaron hojas con ramas pequeñas, lo cual aumenta considerablemente el peso

del material; otro aspecto es que la hojarasca pesa menos que las hojas verdes debido a que durante el proceso de senescencia y translocación pierden nutrientes y agua.

Por otro lado, Lowry (1989) reportó que los árboles maduros aislados de *Albizia lebbbeck* (mismo género de *P. saman*) en Townsville Australia (condiciones de tropicales semihúmedas), de aproximadamente 10 años de edad, producían 130 kg árbol⁻¹ año⁻¹ hojarasca (60 kg de hojas, 30 kg de flores y 40 kg de frutos). Estos valores coincidían con los que se encontraron en este estudio para los árboles más pequeños de *P. saman* (108 y 124 kg árbol⁻¹). A diferencia del estudio actual, en Townsville incluyeron la producción de frutos (40 kg); sin embargo, la producción total de hojarasca es similar a la de los árboles en Muy Muy, a pesar de que estos no produjeron frutos, esto se debe a que los árboles del presente estudio producen más hojarasca por ser más grandes (DAP entre 48 y 122 cm); que los árboles que midieron en Australia (DAP entre 42 y 59 cm). La variación en la producción de frutos entre los árboles de la misma especie se deben a la edad de los árboles, el tamaño, efectos de micrositos (fertilidad), abundancia de individuos, ya que al haber más árboles cerca se aumenta la probabilidad de que se fecunden las flores (Cascante *et al.* 2002).

El reciclaje de N a través de la hojarasca total que se encontró en este estudio para *G. ulmifolia* oscila entre 0,8 y 1,5 kg árbol⁻¹, similar al 1,0 kg árbol⁻¹ año⁻¹ reportado en el estudio realizado en Colombia por Giraldo (1995). Los valores aportados son similares; sin embargo, el presente estudio incluyó todos los componentes de hojarasca, mientras el estudio en Colombia solamente incorporó concentraciones en hojas y ramas frescas, sobreestimando el reciclaje potencial. De igual forma, el aporte de P reportado en Colombia (0,1 kg de P árbol⁻¹) es similar al encontrado en el estudio actual; en cambio en K fue menor (0,2 kg K árbol⁻¹) a la que se encontró en las fincas de Muy Muy (0,6 a 1,4 kg K árbol⁻¹). Aunque ambos elementos son translocados parcialmente antes de la caída de la hojarasca, la mayor cantidad de K probablemente se debe a la mayor concentración de la misma en frutos y epífitas, componentes no incluidos en el estudio Colombiano. Los aportes de nutrientes son muy pocos para satisfacer las necesidades de las pasturas.

Por ser leguminosa y por ser más grandes, los árboles de *P. saman* aportaron mayor cantidad de N con que los de *G. ulmifolia*. También Giraldo *et al.* (1995) reportan que la leguminosa *Calliandra calothyrsus* aporta 41,8 kg N ha⁻¹ año⁻¹ y *Guazuma ulmifolia*

(esterculiaceae) 35,5 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. Los árboles usados en ese estudio tenían aproximadamente 29 cm de DAP y 1,45 m de longitud de fuste.

En cuanto a los demás nutrientes el reciclaje de nutrientes esta en función de su tamaño y la concentración de los nutrientes en los componentes de la hojarasca. Las dos especies reciclaban cantidades similares de Ca, Mg, K y P a excepción del árbol más grande de *P. saman* (árbol N° 6) que tenía valores mas altos para todos los nutrientes debido a su tamaño. Esto se debía a que *G. ulmifolia* tiene mayores concentraciones de estos nutrientes en todos los componentes (exceptuando el Ca en las ramas) mientras *P. saman* produce mas biomasa.

Esto concuerda con Solórzano *et al.* (1995), que exponen que el aporte de nutrientes de los árboles de *P. saman* es mayor cuando los árboles son más grandes. Por otro lado, Cuevas y Lugo (1998) también destacan que el retorno de nutrientes puede ser mayor cuando se escogen especies que producen bastante hojarasca, aunque tengan bajas concentraciones de nutrientes.

4.11 Biomasa aérea y producción de hojarasca de *B. brizantha* y *P. conjugatum*

4.11.1 Disponibilidad de biomasa aérea de *B. brizantha* y *P. conjugatum* en áreas sin influencia de los árboles

En las áreas fuera de la influencia de los árboles, la composición botánica en los potreros estudiados de La Estrella fue de 85% de *B. brizantha* y 15% de malezas. De manera similar, Los Diamantes tenían el 83% de *P. conjugatum* y el 17% de malezas. En ambas fincas, las malas hierbas estaban compuestas por otras gramíneas poco deseables, hojas anchas y ciperáceas. Las pasturas en Muy Muy no estaban bien manejadas, calculándose que alrededor del 88% de los potreros tenían menos del 40% de gramíneas deseables (CATTIE-NORUEGA-PD 2002); es decir, las pasturas típicas de la zona presentaban peores condiciones a las encontradas en este estudio.

La *B. brizantha* era la especie que presentaba mayor disponibilidad de biomasa en los nueve meses de estudio, con un rango que oscila entre 3.952 y 7.103 kg ha⁻¹ mes⁻¹, en

contraste con el *P. conjugatum*, que disponía de una biomasa en pie entre 1.209 y 3.450 kg ha⁻¹ mes⁻¹ (Figura 13). Esto se debe a que *B. brizantha* es una especie exótica seleccionada por alta productividad y la otra es un pasto natural, no mejorada.

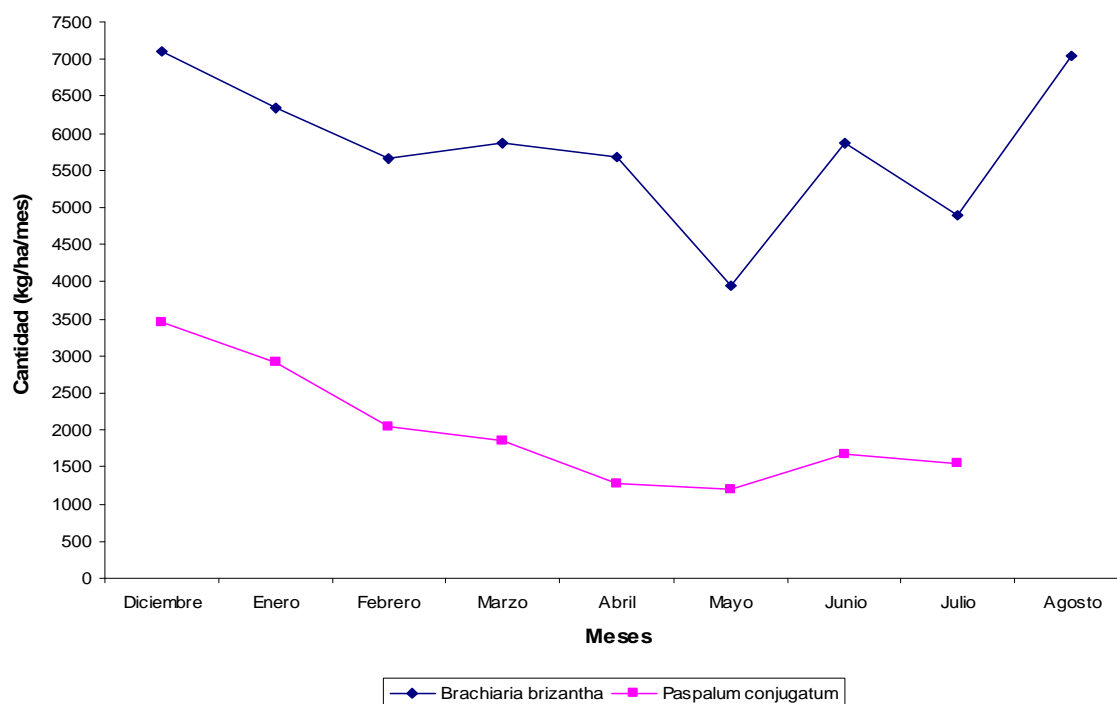


Figura 13. Productividad de pasto mejorado y naturalizado en 2006 en Muy Muy, Nicaragua.

La biomasa en pie de ambos pastos disminuyó en la época seca (abril y mayo), alcanzándose valores mínimos en mayo (*B. brizantha* 3.952 kg ha⁻¹ mes⁻¹ y *P. conjugatum* 1.209 kg ha⁻¹ mes⁻¹). A pesar de que la literatura reporta que la *B. brizantha* tolera la sequía y mantiene mayor proporción de hojas verdes que otras braquiarias (Lobo y Díaz 2001), el estrés hídrico durante la época seca afectó la producción de biomasa en forma significativo (Belsky *et al.*, 1993). Sin embargo, es importante recalcar que la forma de estimar biomasa en pie no es lo mismo que determinar producción mensual, ya que los cortes incluyen material que creció en meses previos al muestreo.

El crecimiento y por tanto la biomasa en pie de ambos pastos aumentó después que inició la época de lluvias; en junio *B. brizantha* presentaba un valor de 5.864 kg ha⁻¹ y *P. conjugatum* 1.664 kg ha⁻¹. Sin embargo, en julio se presentó un descenso en la disponibilidad de biomasa aérea de ambas pasturas, debido a que entraron en la época de floración, la cual disminuye su crecimiento porque están usando sus energías para la etapa reproductiva (Person e Ison 1987) (Figura 15). Al hacer un análisis de correlación entre precipitación (tanto con la precipitación del mes anterior como del mes presente) y la disponibilidad mensual de biomasa en pie de *B. brizantha* o *P. conjugatum* no se encontraron correlaciones significativas ($p=0,35$ y $0,62$, respectivamente).

Aunque es claro que la sombra puede afectar la producción de materia seca de los pastos, la dimensión de este efecto depende de la especie de pasto (entre otros factores como sitio, manejo, clima), debido a que existen especies más tolerantes a la sombra que otras. La literatura reporta algunas especies de pastos que pueden desarrollarse bien con ciertos niveles de sombra; entre ellas se encuentran el *P. notatum*, *B. decumbens*, *B. brizantha* (Pentón 2000; Lobo y Díaz 2001). Sin embargo, Carvalho (1997) encontró que *B. brizantha* disminuía también su producción en áreas sombreadas en comparación con las áreas sin influencia de los árboles. Acorde a este último estudio, durante la fase de establecimiento *B. brizantha* alcanzó el 49% de producción con respecto al testigo (pasto sin influencia de árboles). Asimismo, Somarriba (1984) encontró que la producción de *P. conjugatum* disminuye entre el 37 y 51% cuando crece bajo de la copa de los árboles de *Psidium guajava*.

En contraste, Belsky (1993) en Kenya encontró que en sabana (vegetación natural) con baja y alta precipitación (450 y 750 mm de lluvia anual, respectivamente), la productividad de las pasturas (mezcla de *Panicum maximum*, *Cynodon nlemfuensis*, *Bothriochloa radicans*, *Chloris roxburghiana* y *Digitaria macroblephara*) era mayor bajo de la copa de los árboles que en zonas a pleno sol. En el sitio más seco la biomasa aérea del estrato herbáceo fue 95% mayor bajo los árboles (705 g m⁻² año⁻¹) que a pleno sol (361 g m⁻² año⁻¹); y en zona con mayor precipitación se encontró 52% más bajo *Acacia tortilis* que fuera de copa (808 versus 533 g m⁻² año⁻¹, respectivamente). Esta diferencia de biomasa del pasto se atribuye a que en las zonas bajo copa se reduce la evapotranspiración y a que el suelo tenía altas

concentraciones de N. Aunque también este incremento en la fertilidad puede estar dado por la deposición de las excretas de los animales.

Durr y Rangel (2002), en una zona tropical semi húmeda del noreste de Queensland, Australia (1149 mm de precipitación), detectaron al levantar un inventario durante la época de lluvias que la biomasa del pasto (*Panicum maximum* y *Urochloa mosambicensis*) bajo la copa de *P. saman* era significativamente mayor comparadas con las zonas que estaban cercanas a la copa y las que no tenían influencias de los árboles (883, 554 y 381 g m⁻², respectivamente). Estas diferencias significativas estaban asociadas con la diversidad en la composición de las especies que crecen bajo de la copa de los árboles. Entre las especies que predominaban en las zonas más sombreadas era *Panicum maximum*; en cambio a pleno sol dominaba *Urochloa mosambicensis*. Sin embargo, este efecto fue mínimo, el aumento en la producción se debe mayormente al efecto de los árboles en la fertilidad de los suelos, debido a que se hicieron experimentos con suelo que estaba en las áreas de influencia de los árboles y se determinó que las plantas de *P. maximum* sembradas en el crecían más que las que se encontraban a pleno sol; los autores atribuyeron este comportamiento a que este suelo tenía mayor porcentaje de P y N en comparación con el que no tenía influencia de los árboles. De forma similar, en el presente estudio, debajo de la copa de los árboles de *P. saman* y *G. ulmifolia* no se encontraba el pasto (*B. brizantha* o *P. conjugatum*), las especies que crecían en estas áreas eran malezas de hoja ancha, que resisten altos porcentajes de sombra. Este efecto era más pronunciado en el caso de *B. brizantha*. También se observó que en las zonas cercanas a la copa de los árboles había mayor porcentaje de *B. brizantha* o *P. conjugatum*, comparado con áreas bajo de copa, aunque el desarrollo de estas pasturas era menor que en áreas que estaban a pleno sol. En contraste con el presente estudio, Norton *et al.* (1990) exponen que *P. notatum* aumentaba su producción de biomasa bajo la copa de los árboles de *Eucalyptus grandis*, esto puede explicarse por diferencias en el nivel de sombra baja las diferentes especies. Estos resultados también contrastan con otros estudios que exponen que el incremento en productividad de las pasturas influenciadas por los árboles esta dado por el aumento en la concentración de nutrientes y el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos (Belsky 1994).

4.11.2 Producción de hojarasca de pasto

Las muestras de pastos se tomaron en las áreas que tenían mayor influencia por la deposición de la hojarasca los árboles, las cuales se encontraban al oeste y sur.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) durante todos los meses de evaluación, entre la cantidad de hojarasca existente de *B. brizantha* y la de *P. conjugatum* (Anexo 16). *B. brizantha* siempre presentaba una cantidad de hojarasca existente entre 2 y 6 veces mayor que *P. conjugatum* (Figura 14). Los efectos de sitio están confundidos con el efecto de especie de pasto, pero las diferencias eran tan marcadas que demostraban claramente la mayor productividad de *B. brizantha*. La misma diferencia fue observada en otros potreros de la zona.

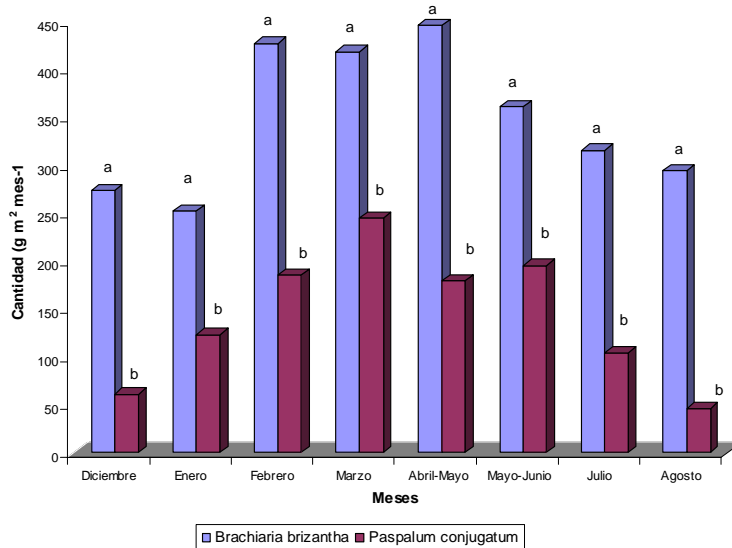
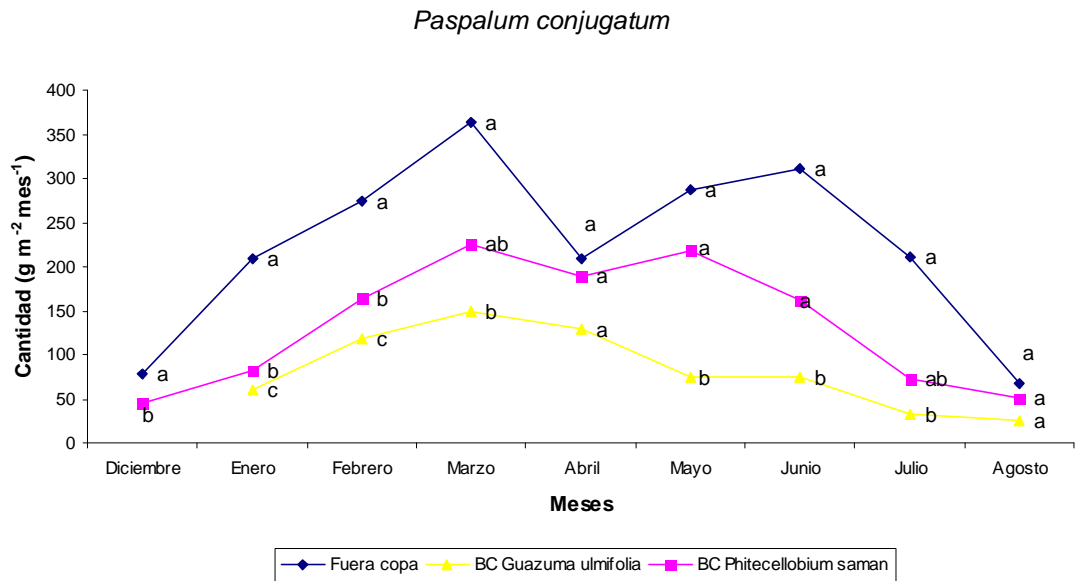
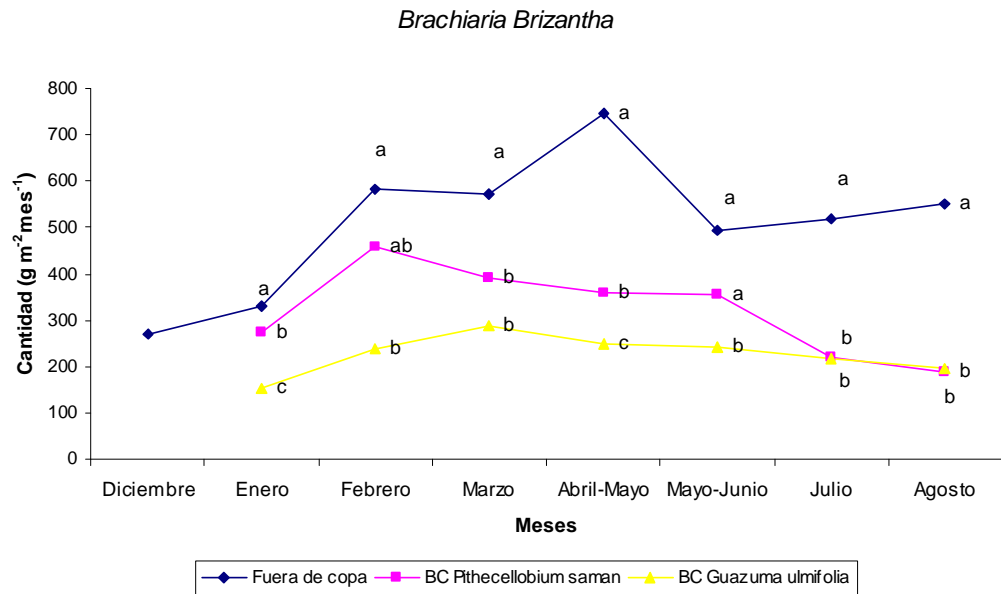


Figura 14. Comparación de productividad de hojarasca existente en *Brachiaria brizantha* y *Paspalum conjugatum* en 2006 en Muy Muy, Nicaragua.

Dentro de los nueve meses de estudio, hubieron meses de menor precipitación (100 mm o menos; diciembre, enero, febrero, marzo, abril) y lluviosos (mayo, junio, julio y agosto) (Figura 2). En los meses más secos (febrero a abril) la cantidad de hojarasca depositada y producida fue mayor (Figura 15), encontrándose en esta época una media de $378 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ n

B. brizantha y $166 \text{ g m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ en *P. conjugatum*. Con el aumento de las lluvias ($p=0,0007$) se observó una disminución en la producción de material senescente (*B. brizantha* 330 g m^{-2} y *P. conjugatum* 133 g m^{-2}), en parte debido a que la humedad favorece los procesos de descomposición. La acumulación de hojarasca durante los meses secos se da también porque en esta época la actividad de la microfauna y organismos descomponedores se hace mas lenta, porque no tienen las condiciones de humedad que ellas necesitan para desarrollarse adecuadamente (Solórzano *et al.* 1998).

Similar comportamiento encontraron Rezende *et al.* (1999) con la hojarasca de *Bracharia humidicola* en Brasil. Durante el periodo más seco se aumentaba la hojarasca depositada y la desaparición de hojarasca se reducía; las cantidades de material senescente existentes en la época seca eran de 200 g m^{-2} contra valores de 120 hasta 80 g m^{-2} en invierno. Como destacan estos autores, la hojarasca existente fluctúa como resultado de diferencias entre la tasa de deposición y la descomposición.



Nota: letras diferentes muestran diferencias significativas acorde a comparación Duncan. BC=bajo de copa.

Figura 15. Hojarasca existente de dos especies de pasturas, fuera de la influencia de los árboles y bajo influencia de ellos, en 2005 y 2006 en Muy Muy, Nicaragua.

Asimismo, Boddey *et al.* (2004) encontró un aumento en la cantidad existente de hojarasca de *B. humidicola* en marzo, debida a la sequía de los meses anteriores, alcanzando valores de 180 g m⁻². Después de este periodo la hojarasca existente fue más o menos constante, encontrando un promedio para la hojarasca existente entre 74 y 117 g m⁻². También determinaron que la existencia de hojarasca disminuye cuando la carga animal aumenta.

La existencia de hojarasca del pasto se evaluó en 2 distintas posiciones: bajo la influencia de la copa (aproximadamente 2 metros fuera de la copa) de *G. ulmifolia* y *P. saman* y en áreas donde no hubo influencia de la copa de los árboles, hallándose diferencias significativas ($p < 0,0001$). La posición donde se encontró mayor cantidad de hojarasca de pasto existente es la de fuera de copa (Figura 15).

Tanto en *B. brizantha* como en *P. conjugatum* la cantidad existente de hojarasca difirió en las tres posiciones en los meses más secos (diciembre 2005 a abril 2006), a diferencia de *P. conjugatum* que en abril no presentó diferencias. En cambio, en los meses más lluviosos (junio, julio y agosto) las diferencias entre las posiciones son menores, generalmente la cantidad existente de hojarasca del pasto bajo la copa de las dos especies arbóreas es similar, pero siempre es diferente fuera de copa.

Las diferencias observadas entre la posición fuera de la copa y bajo influencia de la copa pueden deberse a varios factores, dentro de los que se encuentran; la cantidad de radiación solar que reciben y la competencia por agua y nutrientes entre los árboles y las pasturas (Belsky *et al.* 1989).

Por otro lado, se observó que la cantidad de hojarasca existente en ambas especies de pasto tiende a ser mayor bajo la influencia de la copa de *P. saman* que bajo influencia de la copa de *G. ulmifolia* (Figura 15). Probablemente, este hecho este relacionado con 3 factores:

1. Diferencias en el tamaño de las hojas y en a la densidad de copa causan diferencias en la cantidad de radiación que recibe el pasto. *G. ulmifolia* tenía una hoja simple grande de 6 a 12 cm de largo y de 2,5 a 6 cm de ancho; en cambio, *P. saman* tenía una hoja compuesta con muchas hojuelas pequeñas. Pentón y Blanco (1997) afirma que la

productividad de las pasturas no se ve tan afectada cuando crece bajo determinados árboles tropicales que tienen hojas compuestas y folíolos pequeños, los cuales dejan pasar una radiación solar difusa y permite que los rayos de luz directa incidan sobre la superficie del suelo en forma intermitente. Asimismo, estos autores en su estudio sobre *Albizia lebbbeck* mencionado anteriormente determinaron que los niveles moderados de sombra y la llegada al estrato herbáceo de una radiación solar difusa, resulta en una reducción de la sobresaturación lumínica y el aumento de la eficiencia en el uso de la radiación.

2. Por otra parte, los resultados del presente estudio pudieran deberse a que la hojarasca de *G. ulmifolia* tiene un efecto aleopático, porque sus hojas tienen alcaloides, esteroides, flavonoides, quinonas, saponósidos, compuestos fenólicos y taninos (García 2003); los cuales pueden reducir el desarrollo del pasto bajo su influencia. Aunque Palm y Sánchez (2001) reportan que *P. saman* también tiene taninos y polifenoles en concentraciones bajas, parece que estas no afectan el desarrollo de las pasturas.
3. Por último, por ser el *P. saman* un árbol fijador de N, es posible que los pastos que crecen bajo su influencia se ven estimulados por el enriquecimiento del suelo con N (Staples y Elevitch 2006).

Con base en la recolecta semanal de hojarasca producida se estimo la producción mensual de hojarasca de los pastos (Cuadro 16).

Cuadro 16. Medias de hojarasca existente y depositada en dos especies de pastos acorde a la época y especie.

Época	Pasto	Posición	Medias de hojarasca existente y depositada (g/m ²)		Constante de descomposición (k)	Total de hojarasca depositada en 9 meses		
			Existente (g m ⁻²)	Depositada (g m ⁻² día ⁻¹)	(g g ⁻¹ día ⁻¹)	(ton ha ⁻¹) [‡]		
Lluviosa	<i>Brachiaria brizantha</i>	a	BC gen*	b**	248	6	0,028	16
			BC guá	c	218	3	0,026	8
			FC	a	516	7	0,031	17
	<i>Paspalum conjugatum</i>	b	BC gen	b	124	5	0,040	12
			BC gua	c	51	2	0,035	6
			FC	a	232	6	0,024	14
Seca	<i>Brachiaria brizantha</i>	a	BC gen	b	367	10	0,018	
			BC gua	c	233	7	0,017	
			FC	a	505	15	0,017	
	<i>Paspalum conjugatum</i>	b	BC gen	b	141	6	0,017	
			BC gua	c	119	4	0,024	
			FC	a	226	8	0,016	
***p=0,0007	p<0,0001	p<0,0001						

*BC gen=bajo copa de *P. saman*; BC gua=bajo copa *G. ulmifolia*; FC=fuera de copa para hojarasca existente.

**Duncan; letras diferentes (a,b,c) indican diferencias significativas entre las medias (p<0.05) para una especie de pasto y época dada para hojarasca existente.

*** Análisis de varianza para época, pasto y posición.

+Este contraste es en base de pasturas no replicadas (pseudo-replicas)

‡Producción calculada suponiendo que todo esta bajo de copa de los árboles o que todo esta fuera de copa.

La deposición de hojarasca de *B. brizantha* durante los nueve meses que duró el estudio, en las áreas fuera de copa, fue equivalente a 17 ton ha⁻¹ (Cuadro 16) (suponiendo que no hubo ningún árbol) un poco mayor a la que encontrada en el estudio realizado por Santos *et al.* (2006), en la región tropical de Brasil, con estación seca bien definida y suelo latosol arcilloso de color rojo oscuro, donde estimaron que la deposición anual de hojarasca de una pastura de *B. brizantha*, que tenía una productividad entre 29 y 37 ton MS ha⁻¹ año⁻¹ estaba entre los 8 y 10 ton MS ha⁻¹ año⁻¹. Las diferencias en cuanto a la cantidad de hojarasca que se encontró en el presente estudio con respecto al de Brasil puede deberse a la carga animal (1,5 y 2 UA ha⁻¹, respectivamente), debido a que cuando hay mayor carga animal se da un mayor consumo y por lo tanto disminuye la producción de hojarasca.

Estas diferencias también pueden deberse a las distintas frecuencias de muestreo, debido a que estos investigadores tomaban las muestras cada 14 días, aun sabiendo que en este lapso de tiempo se descomponía hojarasca, la cual no lograban captar. Ellos desarrollaron una ecuación para no subestimar la producción de hojarasca, pero esto no garantiza que determinaron la cantidad que se pierde (que se descompuso y no fue medida) en un 100%. En cambio, en el presente estudio se tomaron los datos cada siete días previendo la descomposición rápida del material, lo que puede captar mejor la producción de hojarasca.

Teniendo en cuenta las áreas afectadas por los árboles acorde al área de copa (cero para las áreas bajo de copa) y haciendo un promedio ponderado de la productividad del pasto que da cada una de las posiciones, se logró estimar que *B. brizantha* en Muy Muy, Nicaragua produce 13 ton ha⁻¹ de hojarasca en los 9 meses de estudio, cantidad de hojarasca superior a la producida por *P. conjugatum* (9 ton ha⁻¹).

En muchas investigaciones se ha encontrado que la productividad de las pasturas (y por lo tanto se puede suponer la producción de hojarasca); es mayor en áreas fuera de copa que en áreas bajo de la copa de los árboles. Se atribuye este hecho generalmente a la sombra de los árboles que causa una reducción en el contenido de fibra y tasa de crecimiento (Giraldo *et al.* 1995; Ribaski y Menezes 2002). En un estudio para evaluar el efecto de varias especies de árboles sobre la gramínea *Andropogon gayanus* en Camerún, Harmand *et al.* (2002) encontraron que la biomasa se redujo alrededor del 50% bajo la copa de los árboles en comparación con las zonas que están a pleno sol (8 ton ha⁻¹ año⁻¹). En este estudio, la especie arbórea que afectó menos al pasto fue *Eucalyptus camaldulensis* debido a que produce una sombra ligera, la cual le permite un mejor desarrollo al pasto (3,5 ton ha⁻¹ año⁻¹). En cambio, aquellos árboles que tienen una copa más cerrada como *Acacia polycantha*, redujeron mas la productividad de la pastura (2,2 ton ha⁻¹ año⁻¹).

Velasco 1998, encontró que la cantidad de material muerto en *Brachiaria humidicola* era mayor a pleno sol (p=0,01), en un 63 y 73%, que en baja y alta densidad de árboles, respectivamente. Asimismo, Pentón y Blanco (1997) encontraron que la materia seca del pasto disminuyó significativamente bajo la copa de los árboles de *Albizia lebbek*, especialmente en

la época de lluvia cuando los árboles tuvieron todo su follaje y un nivel de sombra de 51%. Además, detectaron que en la temporada en que el árbol botó todas sus hojas, se aumentaba la entrada de luz (porcentaje de sombra de 37%), provocando un incremento en la cantidad de materia seca del pasto bajo las copas. Al haber menor producción de materia seca en áreas bajo la copa de árboles se produce menor cantidad de hojarasca en esta posición.

Además, al aumentar la disponibilidad de agua en el suelo en áreas bajo de copa se incrementa la actividad biológica del suelo, con un aumento en la mineralización de N en comparación con las áreas no sombreadas de la pastura, esto puede disminuir también la cantidad de hojarasca bajo la copa de los árboles (Carvalho *et al.* 2000). Sin embargo, el mayor factor que contribuye a la disminución de la materia seca de las pasturas es la radiación.

4.11.3 Estimación de la constante de descomposición

La tasa de descomposición estimadas para las especies de *B. brizantha* y *P. conjugatum* diferían significativamente en la época de lluvia; se supone que esto se debe principalmente a la composición química de estas pasturas, aunque también podría haber ocurrido efecto de sitio (Figura 16).

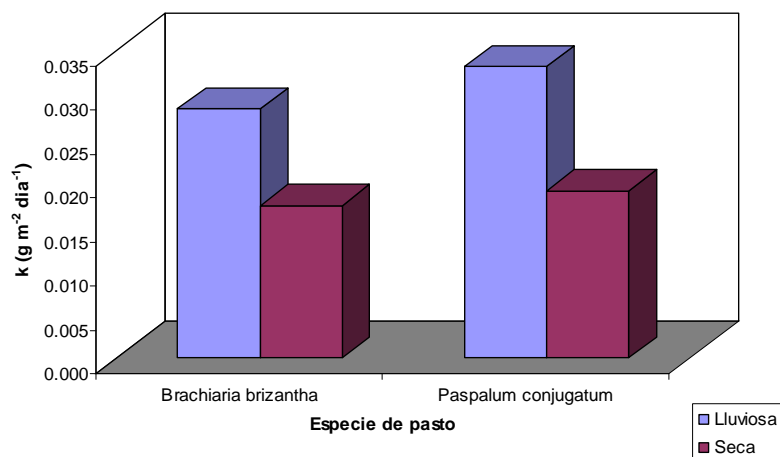
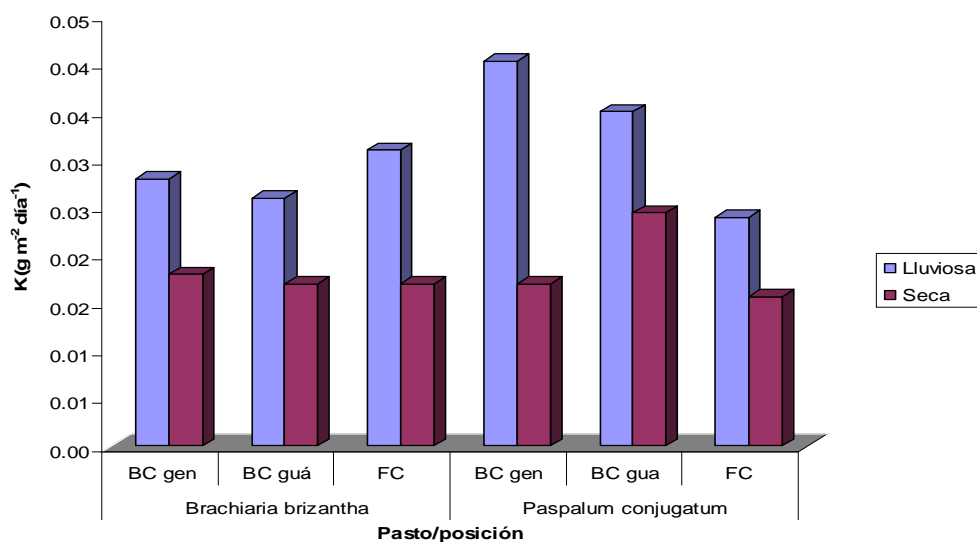


Figura 16. Tasa de descomposición acorde a la especie de la hojarasca de *Brachiaria brizantha* y de *Paspalum conjugatum* en dos épocas (2006) en Muy Muy, Nicaragua.

La tasa media de descomposición de la hojarasca de *B. brizantha*, durante el periodo evaluado (9 meses), es de 0,02 g g⁻¹ día⁻¹, lo que significa que el 2% de la hojarasca se pierde por día (cuadro 16). El valor obtenido es similar a los reportados por Boddey *et al.* (2004), en

un estudio de ciclaje de N en pasturas de *Brachiaria humidicola* en Brasil con un clima tropical húmedo ($k=0,028$ y $0,030 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$). Por otra parte, Rezende *et al.* (1999) en la misma región de Brasil detectaron una constante de degradación entre $0,037$ y $0,048 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$; esta tasa es mayor debido a que las pasturas estaban asociadas con *Desmodium ovalifolium*, la cual por ser leguminosa mejora la relación C:N y promueve la descomposición de la hojarasca. Por otro lado, la cantidad de hojarasca producida en el periodo de evaluación es alta comparada con la hojarasca existente, lo cual indica también que la tasa de descomposición es alta.

No existían diferencias significativas entre las constantes de descomposición de las tres posiciones evaluadas (bajo de copa *G. ulmifolia*, *P. saman* y fuera de copa) para una pastura dada. Sin embargo, al evaluar la tasa de descomposición acorde a las posiciones y la época, se encontró que durante el verano la constante de descomposición fue relativamente lenta y similar para todas las posiciones (rango entre $0,017$ y $0,018 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$); en cambio, durante el invierno fueron en promedios más altos, pero también hubo más variación entre fuera de copa, bajo de copa *P. saman* y bajo de copa de *G. ulmifolia* ($0,031$, $0,028$ y $0,026 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectivamente) (Cuadro 15 y figura 17).



BC gen=bajo de copa de *Pithecellobium saman*; BC gua=bajo de copa de *Guazuma ulmifolia*; FC=fuera de copa.

Figura 17. Constante de descomposición acorde a la posición en *Brachiaria brizantha* y *Paspalum conjugatum* en Muy Muy, Nicaragua.

Las tasas de descomposición en invierno fueron superiores a las encontradas en el verano, esto indicó la importancia de la humedad en los procesos de degradación en este sitio. Thomas y Asawaka (1993), en un estudio de descomposición de hojarasca de pastos tropicales y leguminosas, percibieron que las tasas de degradación disminuyen en el periodo seco; aumentando la duración del material en el campo en este periodo. Tanto en *G. ulmifolia* como en *P. saman* se aumenta la humedad en comparación con fuera de copa, es por ello que las tasas de descomposición eran mayores a las que están fuera de copa.

4.11.4 Nutrientes ciclados en la hojarasca de pasto

4.11.4.1 *Brachiaria brizantha*

Al hacer comparaciones entre la hojarasca que se encontraba bajo las diferentes posiciones (fuera de copa, bajo de copa de *P. saman* y *G. ulmifolia*) en *B. brizantha* no se encontraron diferencias ($p > 0,05$) en cuanto a la concentración de ninguno de los elementos (N, P, K; Mg, Ca) (Anexo 18 y 21). Sin embargo, en las concentraciones de N se notó una tendencia a ser más altas en el borde de las copas de los árboles (entre 0,9 y 0,8%) que a pleno sol (0,7%). Estos valores están en el rango de los resultados de Carvalho (1997), quien encontró en la hojarasca de *B. brizantha* producida a pleno sol valores significativamente más bajos para N (0,86%), en comparación con los que estaban bajo la copa de varios árboles (*Anadenanthera peregrina*, *A. colubrina*, *Platypodium elegans*, *Acacia polyphylla* y *Plathymenia foliolosa*) (1,13%).

Árboles leguminosos tienen la capacidad de fijar una alta cantidad de N, hasta 150 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Kass 1998). Esta podría contribuir al incremento de este nutriente en suelo y por lo tanto las pasturas que crecen bajo estas condiciones aumentan sus concentraciones (Daccarett y Blyndestein 1968; Solórzano *et al.* 1998; Durr y Rangel 2000; Staples y Elevitch 2006). La ausencia de una diferencia marcada en la concentración de N en la hojarasca de pastos que crecen bajo *P. saman* y del pasto que crece en pleno sol o en el área de influencia de *G. ulmifolia* puede deberse a la translocación interno del elemento (Pearson e Ison 1987).

Las concentraciones de K en la hojarasca de *B. brizantha*, fueron ligeramente más altas bajo la copa de *P. saman* y *G. ulmifolia* que a pleno sol (0,5, 0,4 y 0,4%, respectivamente), aunque no se encontraron diferencias significativas ($p=0,2645$). Estos resultados están muy por encima del rango de los resultados de Oliveira *et al.* (2004) y Carvalho *et al.* (1997) quienes encontraron en la hojarasca de *B. brizantha* valores de K entre de 0,12 y 0,17%, respectivamente. Estas diferencias pueden deberse a la influencia que el tipo de suelo en la concentración de nutrientes en las plantas, ya que los suelos de Muy Muy son ricos en K, en cambio los suelos de la región centro sur de Brasil son suelos ácidos de baja fertilidad natural, con mayor dominancia de latosol rojo Amarillo, los cuales presentan deficiencia de fósforo, de nitrógeno y de potasio. También pueden deberse a diferentes épocas de muestreo; debido a que en el presente estudio durante los meses más secos se presentaba una mayor concentración de K en la hojarasca (0,4 a 0,6%) que en los meses de lluvia (Julio y agosto), donde apenas alcanzó el 0,3%, esto se debe a que este elemento es muy móvil y por lo tanto con el agua de las lluvias se lava fácilmente.

Aunque Ca en la hojarasca de *B. brizantha* tampoco presentó diferencias ($p=0,3951$) en las distintas posiciones, se notó un leve incremento bajo de la copa de *G. ulmifolia* (0,6%) comparado con *P. saman* (0,5%) y fuera de copa (0,5%). Esto se debe a que la hojarasca de *G. ulmifolia* tiene altas concentraciones de Ca. En cambio, las concentraciones de Mg y P en las diferentes posiciones fueron similares. Esto concuerdan con el estudio de Solórzano y Arends (1998) en que tampoco encontraron diferencias significativas para P en las diferentes posiciones (bajo de copa y fuera de copa).

4.11.4.2 *Paspalum conjugatum*

En *P. conjugatum* el N ($p=0,0078$), fue más alto bajo de la copa de *P. saman* (1,3%) y *G. ulmifolia* (1,2%), difiriendo con fuera de copa (1%) (Anexo 19 y 21). Este hallazgo coincide con lo encontrado por Harmand *et al.* (2002) donde el estrato herbáceo bajo *Acacia polyantha* presentó la mayor concentración de N; debido a que esta especie es fijadora de N y promueve el alto reciclaje de de N; ellos sugirieron que la causa fue una alta tasa de mineralización de N en el suelo. Asimismo, concuerda el estudio actual con Solórzano y Arends (1998) quienes encontraron que en las pasturas de *C. nlemfuensis* que estaban

influenciadas por la hojarasca de *P. saman* había mayor concentración de N en sus tejidos frescos (3%) que en áreas a pleno sol (2%).

El Ca difiere significativamente ($p=0,0007$) siendo la hojarasca que esta influenciada por *G. ulmifolia* la que tiene la mayor concentración (0,9%), seguida de *P. saman* (0,8%) y fuera de copa (0,7%) (Cuadro 16). Estos resultados coinciden con los encontrados en una investigación realizada en Venezuela sobre la composición química del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) influenciado por la sombra de *P. saman*, en la cual determinaron que el contenido de Ca era mayor en las posiciones que se encontraban influenciadas por la copa de los árboles (0,29%) con relación a los que estaban a pleno sol (0,23%). Asimismo, la concentración de P mostró diferencias ($p=0,0203$) entre las concentraciones que estaban bajo la copa de los árboles (0,11%) en *G. ulmifolia* y 0,10% *P. saman*) y fuera de copa (0,9%).

Aunque no se encontraron diferencias ($p=0,2262$) en las concentraciones de K de la hojarasca de *P. conjugatum* que se colecto en las distintas posiciones, se notan leves incrementos en K debajo de copas de los de árboles *G. ulmifolia* y *P. saman* (0,3 y 0,3%, respectivamente) comparado con pleno sol, (0,2%). En cambio, las concentraciones de Mg fueron similares en todas las posiciones.

Cuadro 17. Concentración (%) de nutrientes en la hojarasca de *Brachiaria brizantha* y *Paspalum conjugatum* en Muy Muy, Nicaragua.

Pastos/posición	n	Ca	Mg	K	P	N	Carbono total	
<i>Brachiaria brizantha</i>		(%)						
Bajo copa <i>Pithecellobium saman</i>	Seca*	5	0,5	0,17	0,6	0,14	0,9	42,0
	Lluviosa*	3	0,6	0,19	0,3	0,12	0,8	41,1
	Hojarasca**	8	0,5	0,18	0,5	0,13	0,9	41,5
	pasto verde	1	0,3	0,23	2,9	0,36	2,0	43,1
bajo copa <i>Guazuma ulmifolia</i>	seca	4	0,5	0,21	0,5	0,13	0,9	39,1
	lluviosa	3	0,6	0,19	0,3	0,11	0,7	41,0
	hojarasca	7	0,6	0,20	0,4	0,12	0,8	40,0
	pasto verde	1	0,3	0,22	2,9	0,31	1,8	44,1
Fuera copa	seca	5	0,5	0,19	0,4	0,13	0,7	40,8
	lluviosa	3	0,4	0,16	0,3	0,10	0,7	42,1
	hojarasca	8	0,5	0,18	0,4	0,12	0,7	41,5
	pasto verde+	1	0,3	0,18	2,6	0,35	1,8	43,3
<i>Paspalum conjugatum</i>								
Bajo copa <i>Pithecellobium saman</i>	seca	6	0,7	0,27	0,4	0,10	1,2	36,7
	lluviosa	3	0,9	0,24	0,2	0,11	1,5	36,7
	hojarasca	9	0,8	0,26	0,3	0,10	1,3	36,7
	pasto verde							
bajo copa <i>Guazuma ulmifolia</i>	seca	5	0,9	0,27	0,4	0,11	1,1	37,2
	lluviosa	3	1,0	0,24	0,2	0,11	1,2	36,1
	hojarasca	8	0,9	0,26	0,3	0,11	1,2	36,7
	pasto verde	1	0,6	0,27	1,8	0,24	1,7	42,6
Fuera copa	seca	6	0,6	0,27	0,3	0,08	0,9	36,2
	lluviosa	3	0,8	0,24	0,2	0,09	1,2	36,7
	hojarasca	9	0,7	0,26	0,2	0,09	1,0	36,4
	pasto verde	1	0,4	0,29	1,3	0,19	1,4	42,4

*son concentraciones de nutrientes de hojarasca para la época seca y lluviosa. **Hojarasca promedio por periodo lluvioso, seco y de los nueve meses.

+ El pasto verde se tomo en el mes de agosto (época lluviosa).

4.11.4.3 Comparaciones entre las especies

Al comparar las dos especies, se observa que *P. conjugatum* tenía los valores más altos de N, Ca y Mg en todas las posiciones en comparación con *B. brizantha*. Por otro lado, las dos especies tenían valores similares de P y el *B. brizantha* tiene más K que el *P. conjugatum* (Cuadro 17).

Por otro lado, al evaluar las diferencias entre la concentración de nutrientes a lo largo del estudio (nueve meses) se encontró que en diciembre, enero, febrero (inicios de la estación seca) los porcentajes en la hojarasca eran altos; en cambio, a finales de la época seca (abril-

mayo) se encontraron las menores concentraciones de nutrientes y estos volvieron a incrementarse en julio y agosto (Anexo 18 y 19). Estos efectos se presentan en Ca, N en todas las posiciones (fuera de copa, bajo copa de *P. saman* y *G. ulmifolia*) tanto en *P. conjugatum* como en *B. brizantha*. En el caso del Mg de *B. brizantha*, se nota la misma tendencia bajo de la de *P. saman*, no así bajo *G. ulmifolia* y fuera de copa, donde mantiene valores similares en todos los meses. Esto demuestra la influencia de los árboles en el aporte de nutrientes, debido a que en esta temporada la materia se estaba descomponiendo.

Este cambio en la concentración de nutrientes a través del tiempo se debe que hay mayor cantidad de nutrientes disponibles en el suelo en la época lluviosa, porque todo el material senescente que se había acumulado se descompone rápidamente con las primeras lluvias favoreciendo la nitrificación de nutrientes (Bolivar *et al.* 1999).

4.11.4.4 Translocación de nutrientes en *B. brizantha* y *P. conjugatum*

Ambas pasturas (*B. brizantha* y *P. conjugatum*) las concentraciones de N, P y K en la hojarasca era mucho más baja que la del pasto fresco. Las muestras de *P. conjugatum* (hojas verdes) fuera de copa tenían 1.4% de N, 0.2% de P y 1.3% de K, en contraste con 1% de N, 0.1% P y 0.2% de K que se encontraba en la hojarasca de *P. conjugatum* a pleno sol. Esto esta en concordancia con un estudio realizado para evaluar la hojarasca en dos pastos bajo pastoreo en el sureste de Queensland, donde determinaron que en la hojarasca del pasto pangola había solamente el 72 y 88% de P y K, respectivamente de la concentración de estos elementos en el mismo pasto verde (Bruce y Ebersohn 1982). Antes de la senescencia ocurren cambios importantes por la translocación de los nutrientes.

En base de estos datos del estudio actual se concluye que *B. brizantha* el 58% del N se transloca, el 64% del P, el 85% del K. El que menos se transloca es el Mg (10%) y el Ca aumenta en un 73%. Este aumento se debe a que Ca es un componente estructural y al disminuir los otros elementos este aumenta su concentración. En *P. conjugatum* se transloca el 31% de N, el 54% de P, el 81% de K y el 7% de Mg; y hay 2 veces mas Ca en el tejido viejo que el nuevo (Anexo 20). Al translocar más N *B. brizantha* que *P. conjugatum*, la *B. brizantha*

devuelve al suelo menor cantidad de este elemento por gramo de materia seca, pero en combinación con la biomasa total que produce *B. brizantha* el aporte al sistema es mayor.

Muchas investigaciones reportan que los pastos que crecen bajo los árboles en sistemas silvopastoriles tienen mayor concentración de nutrientes por que estos se benefician del reciclaje de nutrientes de los árboles (Nair 1997; Russo y Botero 1999; Belsky 1993, Carvalho 1997). El efecto de los árboles es más evidente en *P. conjugatum* porque la concentración que se encuentra en la hojarasca bajo de la copa de los árboles difiere significativamente de la que está fuera de copa, especialmente para Ca, N y P. A pesar de que en *B. brizantha* no se encontraron diferencias en la concentración de los elementos en la hojarasca que estaba bajo de la copa de los árboles y fuera de copa, existen tendencias claras de un aporte ligeramente mayor bajo de la copa de *G. ulmifolia* y *P. saman*.

4.11.5 Estimación del aporte de nutrientes

A pesar de que la hojarasca fuera de copa en *B. brizantha* tenía menor concentración de N, esta aportó mayor cantidad de este elemento debido a que producía mayor cantidad de material que bajo la copa de *P. saman* y *G. ulmifolia* (3.263, 2.300 y 1.533 g m⁻², respectivamente). La hojarasca producida en la posición fuera de copa, durante los nueve meses del estudio, tuvo un contenido de 25 g de N m⁻² en comparación con 19 y 13 g N m⁻² devueltos bajo la influencia de *P. saman* y *G. ulmifolia*. De igual manera, la hojarasca a pleno sol fue la que proporcionó más P, Ca, y Mg (Cuadro 18). La hojarasca producida bajo la influencia de *P. saman* proporcionó la misma cantidad de K que la encontrada fuera de copa. La hojarasca bajo la copa de *P. saman* recicla más nutrientes que la localizada bajo la influencia de *G. ulmifolia*.

Cuadro 18. Producción de hojarasca de pasto y cantidad de nutrientes aportados de diciembre 2005 a agosto 2006.

Pasto	Posición	Hojarasca producida g m ⁻²	Nutrientes reciclados (g m ⁻²)						
			N	P	K	Ca	Mg	C.T.	C/N
<i>Brachiaria brizantha</i>	Fuera de copa	3.263	25,0	4,0	12,5	16,1	6,2	945,6	61,6
	Bajo copa <i>Pithecellobium saman</i>	2.300	19,4	2,9	11,8	11,6	4,1	797,9	52,4
<i>Paspalum conjugatum</i>	Bajo copa <i>Guazuma ulmifolia</i>	1.533	12,5	1,9	6,2	8,5	3,0	489,1	52,5
	Fuera de copa	1.847	17,1	1,7	5,3	12,3	4,9	504,4	38,6
	Bajo copa <i>Pithecellobium saman</i>	1.460	17,8	1,4	4,9	11,4	3,9	444,5	28,3
	Bajo copa <i>Guazuma ulmifolia</i>	817	9,4	0,8	3,1	7,4	2,3	259,3	32,4

*Hojarasca producida durante 9 meses (diciembre-agosto). C.T.=carbono total.

Los cálculos se hicieron acorde a la cantidad de hojarasca producida por mes y la concentración de nutrientes en ese mes.

B. brizantha presentaba valores significativamente más altos de la relación C:N que *P. conjugatum* (Cuadro 18). Sin embargo, en ambas especies la relación era mayor a 20. Indicando que se pueden presentar problemas con la inmovilización de N (Boddey *et al.* 2004). Por otra parte, en ambas especies la relación C:N es menor bajo la influencia de la copa de los árboles, indicando que en esta posición la descomposición de la hojarasca probablemente sea mas rápida que en pleno sol, y que la posible inmovilización de N es menor.

Usando los datos del mapeo de los potreros (Cuadro 2), se estimó que en La Estrella el 83% de la pastura está a pleno sol y solo el 17% está bajo copa. Al extrapolar la producción de toda la pastura de *B. brizantha* (tomando en cuenta tanto las áreas bajo copa como las que no tienen influencia de los árboles), el aporte para los nueve meses anda alrededor de 13 ton ha⁻¹ (Cuadro 19). Esta producción de hojarasca es más elevada que la que presenta Santos *et al.* (2006) en Brasil, donde estiman una producción de hojarasca para *B. brizantha* es de 10 ton/ha/año, las diferencias se deben a que en Brasil usan cargas animales más altas, con lo que se disminuye la producción de hojarasca. Sin embargo, existen otros estudios que presentan producciones de hojarasca de *Brachiaria* sp. hasta 15 ton ha⁻¹ año⁻¹ (Rezende *et al.* 1999). En cambio, en Los Diamantes el 74% de la pastura esta bajo sol y el 26% bajo la copa de árboles. Se estimó que la producción de hojarasca de *P. conjugatum* es de 8 ton ha⁻¹ de hojarasca.

Cuadro 19. Producción de hojarasca de pastos naturales y mejorados.

Pasto	Posición	Hojarasca producida (kg ha ⁻¹)	Nutrientes reciclados (kg ha ⁻¹)					
			N	P	K	Ca	Mg	CT
<i>Brachiaria brizantha</i>	Fuera copa	13.020	99,6	15,8	50,1	64,4	24,9	3.773,0
	Bajo copa <i>Pithecellobium saman</i>	105	0,9	0,1	0,5	0,5	0,2	36,4
	Bajo copa <i>Guazuma ulmifolia</i>	52	0,4	0,1	0,2	0,3	0,1	16,6
	Otros árboles	216	2,0	0,3	1,1	1,3	0,5	98,7
	Total bajo copa	373	3,3	0,5	1,8	2,1	0,7	151,7
	Total sistema	13.393	102,9	16,3	51,9	66,5	25,6	3.924,7
<i>Paspalum conjugatum</i>	Fuera de copa	7.769	72,1	7,1	22,1	51,7	20,7	2.121,6
	Bajo copa <i>Pithecellobium saman</i>	74	0,9	0,1	0,2	0,6	0,2	22,5
	Bajo copa <i>Guazuma ulmifolia</i>	82	0,9	0,1	0,3	0,7	0,2	26,0
	Otros árboles	350	4,7	0,4	1,3	3,3	1,0	140,2
	Total bajo copa	506	6,5	0,6	1,9	4,6	1,4	188,7
	Total sistema	8.275	78,7	7,6	24,0	56,4	22,1	2.310,4

Hojarasca producida durante 9 meses (diciembre-agosto). CT=carbono total.

El aporte más grande de hojarasca lo hizo *B. brizantha*, produciendo 1.6 veces más que *P. conjugatum*. Esto se debe principalmente a que *B. brizantha* es un pasto mayor productividad que *P. conjugatum*. Al ser mayor el aporte de la hojarasca, fue significativamente más alta la cantidad de nutrientes que la *B. brizantha* recicla en comparación con el *P. conjugatum*, a pesar de que este último tenía mayor concentración de N en su hojarasca.

Por otro lado, las relativamente bajas concentraciones de nutrientes en la hojarasca *B. brizantha* pueden deberse a que esta especie es adaptada a sitios de baja fertilidad y esto puede ser un indicador de su capacidad para producir en condiciones pobres (bajos contenidos de nutrientes en los suelos) (concentraciones promedio de N en *B. brizantha* 0.9% versus 1.1% en *P. conjugatum*). Alternativamente, también podría interpretarse que el suelo no puede suplementar las altas necesidades de *B. brizantha* y que la especie crece muy por debajo de su potencial.

Los aportes de nutrientes en *B. brizantha* a pleno sol eran mayores que los de bajo de copa, esto es debido a que era mayor la producción de hojarasca fuera de copa, se estima que recicla entre 30 y 40 veces más nutrientes que bajo de copa. En *P. conjugatum* se muestra la misma tendencia (cuadro 19).

4.12 Comparación de la producción de hojarasca de árboles y pasturas

Entre diciembre 2005 y agosto 2006, los pastos produjeron mayor cantidad de hojarasca que los árboles en los dos sitios estudiados. Usando las estimaciones de la producción de hojarasca por árbol basado en las trampas redondas (Cuadro 20) se encontró que en el caso de La Estrella, los árboles producen menor cantidad de hojarasca que *B. brizantha*, 609 kg de materia seca por hectárea contra 13 ton ha⁻¹ de materia seca del pasto. Parte de la diferencia se debe a que el potrero tiene baja densidad de las especies arbóreas estudiadas (1.2 árboles de *P. saman* y 1.9 de *G. ulmifolia*).

De igual manera, en los Diamantes, *P. conjugatum* produjo 8 ton ha⁻¹ y las dos especies de árboles en conjunto produjeron 602 kg de materia seca ha⁻¹ en los mismos nueve meses. Por lo tanto, el aporte de nutrientes del pasto es mayor (Cuadro 20). La diferencia se debió a las bajas densidades de *P. saman* (1.38 árboles ha⁻¹) y *G. ulmifolia* (5.13 árboles ha⁻¹), por lo que el aporte de hojarasca que hacen al sistema es limitado.

Cuadro 20. Producción de hojarasca de árboles y pastos y aporte de nutrientes durante el 2006 en sistemas silvopastoriles de Muy Muy, Nicaragua.

Finca/especie	Densidad (árboles/ha)	Hojarasca	N	P Kg ha ⁻¹	K	Mg	Ca
Los Diamantes							
<i>Pithecellobium saman</i>	1,4	218,3	5,0	0,2	1,4	0,3	4,8
<i>Guazuma ulmifolia</i>	5,1	383,4	5,2	0,8	5,0	1,4	9,9
Total árboles	6,5	601,7	10,2	1,0	6,5	1,7	14,7
Total <i>Paspalum conjugatum</i>		8.275	78,7	7,6	24,0	22.1	56.1
La Estrella							
<i>Pithecellobium saman</i>	1,2	428,1	10,5	0,5	2,6	0,7	17,2
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1,9	180,6	2,4	0,4	1,9	0,6	6,7
Total árboles	3,1	608,6	13,0	0,9	4,5	1,3	23,9
Total <i>Brachiaria brizantha</i>		13.393	102,9	16,3	51,9	25.6	66.5

Una desventaja de la producción de hojarasca de árboles para la productividad de una pastura es que los componentes hojas, flores y frutos presentan una fuerte estacionalidad en la caída del material senescente (Durr 2001). En el caso estudiado, la mayor caída se presentó entre enero y mayo. Para los pastos, este aporte se dió en un momento inadecuado, porque el

crecimiento y la demanda por nutrientes de los pastos era mínimo y tampoco hay condiciones para que el material se descomponga. Además, el pasto mismo estaba produciendo gran cantidad de hojarasca en esta época. Al llegar el invierno, la descomposición de todo ese material ocurrió en poco tiempo, causando una abundancia de nutrientes durante un periodo limitado. Es probable que las pasturas no los pudieran aprovechar todos y se dieran pérdidas significativas de nutrientes del sistema (Sánchez, 1976).

En cambio, las pasturas tienen un ciclo más corto; por lo tanto, su contribución al ciclaje de nutrientes se presenta de manera constante a lo largo del año, aunque también presentan una época de mayor producción durante la estación seca porque la tasa de producción de hojarasca es sensible a la escasez de agua (estrés de las plantas) y la temperatura (Pearson e Ison 1987). Boddey *et al.* (2004) encontraron que la hojarasca existente de *B. humidicola* aumentaba en febrero (mes seco) debido a la limitada descomposición, pero la producción de hojarasca se mantuvo constante en el resto del año; la deposición de material senescente estuvo entre 49 y 79 g m⁻² en periodos de 14 días. Otra de las ventajas de la producción de hojarasca de las pasturas es que estas tienen una distribución homogénea por todo el potrero; en cambio, los árboles aportan la hojarasca en sitios muy puntuales y un gran porcentaje (basada en las trampas redondas, se estima que el 84% de la hojarasca total de *P. saman* y 89 % de *G. ulmifolia* queda debajo de la copa de los árboles) donde los pastos no las aprovechan porque en el caso de estos sitios experimentales no crecen bajo de la sombra de los árboles. Además, estas observaciones sobre la distribución de la hojarasca coinciden con las indagaciones sobre los efectos de la hojarasca de *P. saman* a lo largo de la distancia al tronco del árbol realizadas en un arrozal con árboles dispersos en Tailandia (suelo Aquic Quartzipsamments), donde encontraron altos contenidos de materia orgánica y nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en las posiciones cercanas a la copa de los árboles comparada con las zonas que tenían menor influencia del árbol (11 m de la base del árbol). Esto se debe a que estas zonas reciben altas cantidades de hojarasca en comparación con las áreas más alejadas (Sae-Lee *et al.* 1992). A como se puede observar, los árboles están concentrados en unos sitios y el resto de las pasturas no se ve beneficiada de los aportes que estos hacen al sistema (Figura 5 y 6).

Al aumentar la densidad de árboles en las fincas se puede promover un mayor reciclaje de nutrientes, siempre y cuando estén bien distribuidos en los potreros. Sin embargo, hay que tener cuidado debido a que con el aumento de la densidad arbórea se podría disminuir la productividad (Belsky y Amudson 1998). Velasco (1998) encontró que la producción de *Brachiaria humidicola* se reducía cuando aumentaba la densidad arbórea de 120 a 240 árboles ha⁻¹ de *Acacia mangium* (1509 y 1425 kg MS ha⁻¹, respectivamente), esto porque aumentaba el área de copa considerablemente y disminuía la radiación solar que entraba al sistema.

Las pasturas en monocultivo tienden a degradarse por las altas relaciones C:N de la hojarasca, las cuales causan la inmovilización de N, con lo cual no están disponibles los nutrientes para las pasturas y bajan su productividad (Boddey *et al.* 2004). La inmovilización de N en la hojarasca de pastos por las altas relaciones C:N es considerada por algunos autores (Thomas 1992; Oliveira *et al.* 2004; Boddey *et al.* 2004;) como el principal factor limitante para su producción a largo plazo. Se considera que con la introducción de especies fijadoras de N en el sistema se podría mejorar el reciclaje de nutrientes ya que el asocio puede favorecer la velocidad de la descomposición de la hojarasca porque bajan la relación C:N. La presencia de los árboles en las pasturas es importante, especialmente si son leguminosas, por el aporte que le dan a los sistemas silvopastoriles, con el cual contribuyen a la sostenibilidad del sistema. Thomas (1992) estima que la cantidad de N biológicamente fijado que se requiere para mantener la productividad de pasturas tropicales que tienen una productividad que oscilan entre las 3 y 22 ton de materia seca al año, es de 158 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Al comparar la producción total de hojarasca y el aporte de nutrientes en ella por metro cuadrado de las especies arbóreas (*P. saman* y *G. ulmifolia*) y de los pastos (*B. brizantha* y *P. conjugatum*) se observó (Cuadro 21) que los pastos producen de 2 a 4 veces más hojarasca que los árboles por debajo de la copa. *B. brizantha* produjo en las 3 posiciones estudiadas un poco más que *P. Conjugatum*. Ambas especies de árboles producen cantidades similares de hojarasca. Se observa además que la producción de hojarasca de los pastos muestra poca influencia de las estaciones, mientras los árboles producen mucho mayor cantidad de hojarasca en la época seca y al inicio de las lluvias (febrero-junio).

Cuadro 21 . Deposición mensual y total de todos los componentes de hojarasca de las especies arbóreas y las pasturas.

Meses	<i>Pithecellobium saman</i> *	<i>Guazuma ulmifolia</i> *	Hojarasca			<i>Paspalum conjugatum</i>		
			<i>Brachiaria brizantha</i>			FC	BC Gen	BC Gua
			FC	BC gen	BC Gua			
			g m ⁻² mes ⁻¹					
Diciembre	19	29	190	140	98	165	148	76
Enero	26	31	190	155	98	165	148	76
Febrero	57	34	171	140	89	149	134	69
Marzo	100	91	190	155	98	165	148	76
Abril	30	60	174	264	77	102	112	55
Mayo	86	49	180	243	79	177	159	81
Junio	48	50	117	235	59	163	274	49
Julio	15	30	261	196	112	219	93	58
Agosto	15	35	197	129	140	157	89	135
Total	394	410	1670	1657	852	1463	1305	676

BC Gua=bajo la influencia de copa de *G. ulmifolia*, BC Gen=bajo la influencia de copa de *P. saman*.

*Promedio de producción de hojarasca total de las cuatro trampas que se encuentran bajo de copa (de los 6 árboles de cada especie)

Como se observa en los cuadro 22 y 23, los lugares en el potrero donde había un aporte tanto de la hojarasca del pasto como de la hojarasca de *P. Saman* eran los que recibían la mayor cantidad de nutrientes. Contrario a lo que se esperaba, el mayor aporte de nutrientes en esta posición no se refleja en un mayor crecimiento del pasto. Posiblemente la competencia por luz no permite al pasto aprovechar de la mayor riqueza de nutrientes y producir más biomasa. La mayor concentración de nutrientes observado en la hojarasca en esta posición comparado con el área fuera de la influencia de la copa de los árboles (Cuadro 17) apoya esta explicación. Una explicación alternativa pueda ser que en esta posición hay un número significativo de raíces de los árboles que compiten con el pasto por los nutrientes. Sin embargo, en este estudio no se investigó la presencia de las raíces de árboles.

Cuadro 22. Aporte de N de las especies arbóreas y de los pastos en Muy Muy, Nicaragua.

Mes	P. saman	G. ulmifolia	FC	Brachiaria brizantha				FC	Paspalum conjugatum			
				BC gen*		BC Gua*			BC gen		BC Gua	
				Oeste	Este	Oeste	Este		Oeste	Este	Oeste	Este
$\text{g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$												
Enero	0,6	0,3	1,3	1,8	1,4	1,1	0,9	1,5	2,0	1,7	1,3	1,1
Febrero	1,2	0,3	1,3	2,6	1,0	1,3	1,0	1,6	2,1	1,5	1,0	0,9
Marzo	1,9	1,1	1,7	3,6	1,5	1,4	0,8	1,1	2,9	1,7	1,1	0,7
Abril	0,7	0,6	0,9	3,3	2,3	0,9	0,5	0,8	1,6	1,3	1,0	0,5
Mayo	2,9	0,7	1,1	3,6	1,5	0,8	0,6	1,8	3,7	2,0	1,2	0,9
Junio	1,4	0,8	1,0	2,4	2,2	0,6	0,5	1,6	3,8	3,7	0,8	0,7
Julio	0,3	0,5	1,7	2,0	1,9	0,9	0,8	2,5	1,6	1,5	0,9	0,8
Agosto	0,3	0,6	1,3	1,3	1,3	1,1	1,0	2,1	1,5	1,4	1,7	1,6
Total	9,4	4,9	10,2	20,7	13,2	8,0	6,0	13,0	19,1	14,8	9,0	7,2

Nota: Los valores de pasto bajo de copa incluyen el valor acorde a la hojarasca del pasto, más lo que cae en la dirección este u oeste de la hojarasca de los árboles. BC Gua=bajo de copa de *G. ulmifolia*; BC Gen=bajo de copa de *P. saman*.

Por otra parte, la baja productividad de ambas especies de pasto bajo la influencia de la copa de *G. Ulmifolia* (Figura 15) es la causa principal de que los sitios al oeste y al este de los árboles de esta especie generalmente reciben menos nutrientes por la caída de hojarasca que los sitios fuera de la influencia de los árboles (Cuadro 22 y 23). Solamente en el caso de Ca al oeste de los árboles hay una caída mayor que en los sitios fuera de la influencia de los árboles de *G. Ulmifolia*.

Como es de esperar por la dominancia de los vientos del este, los sitios al oeste de los árboles son que más nutrientes reciben. Igualmente predecible, los sitios bajo influencia de la leguminosa *P. Saman* reciben más N que los bajo influencia de *G. Ulmifolia*. Sin embargo, la especie arbórea que aporta mayor cantidad de Ca, Mg, K y P por metro cuadrado es *G. Ulmifolia*, debido a las mayores concentraciones de estos nutrientes observadas en la hojarasca de esta especie (Cuadro 14).

A pesar de que la cantidad de hojarasca producida por *B. brizantha* es mayor que la de *P. conjugatum* los valores de nitrógeno aportados son similares (cuadro 22), debido a que *P. conjugatum* tiene concentraciones más altas de N que *B. Brizantha*, posiblemente relacionado con la fijación de N por bacterias del género *Azotobacter* asociadas con esta especie de pasto (Dobereiner y Day 1974).

En las áreas que no estaban influenciadas por la deposición de hojarasca de los árboles, se encontró que *P. conjugatum* aportó mayor cantidad de Mg y Ca que *B. brizantha* y que esta última aportaba más P y K.

Como se observa para N en cuadro 22 (Anexo 22), los mayores aportes de nutrientes de las especies arbóreas se dan en la época seca y al inicio de la época lluviosa, cuando los árboles están botando la mayor cantidad de hojas y flores; especialmente este último componente tiene altas concentraciones de nutrientes (Cuadro13).

Cuadro 23. Aporte de nutrientes de las especies arbóreas y de los pastos en Muy Muy, Nicaragua.

*El cálculo de nutrientes de en las posiciones de bajo de copa incluyen el aporte de nutrientes del pasto más el de la hojarasca que

Nutrientes	<i>P. saman</i>	<i>G. ulmifolia</i>	FC	<i>Brachiaria brizantha</i>				FC	<i>Paspalum conjugatum</i>			
				<i>BC gen*</i>		<i>BC Gua*</i>			<i>BC gen*</i>		<i>BC Gua*</i>	
				Oeste	Este	Oeste	Este		Oeste	Este	Oeste	Este
P	0,46	0,77	1,71	2,26	1,92	1,13	0,89	1,16	1,34	1,14	0,89	0,67
K	2,4	4,9	5,3	8,5	7,0	4,2	2,8	3,2	4,5	3,6	3,5	2,1
Mg	0,6	1,2	2,6	3,3	2,8	2,1	1,5	3,3	3,2	3,0	2,2	1,6
Ca	6,7	7,1	6,9	12,3	8,2	9,0	4,3	9,1	11,4	9,5	10,1	5,9

cae en las trampas fuera de copa en las direcciones oeste y este.

4.13 Componentes que afectan la degradación de la hojarasca de especies arbóreas y pasturas

Las hojas de *P. saman* presentaban 5,8% de taninos, en cambio la de *G. ulmifolia* tenía 2,9% (Cuadro 24), esto indicaba que esta última se degrada más rápidamente que la hoja de *P. saman*. Esto contrasta con Wedderburn y Carter (1999) que encontraron que los árboles caducifolios fijadores de N tenían altas tasas de descomposición en comparación con los perennifolios no fijadores de N, debido a que estos últimos tenían altos contenidos de lignina y bajas cantidades de N. Sin embargo, estudios realizados en *P. saman* estiman que la tasas de descomposición de su hojarasca son rápidas, debido a que tienen altos contenidos de N, su relación C:N es de 14 y a que tienen bajos contenidos de lignina y polifenoles (Palm y Sánchez 1991; Salamanca 2002). Por otro lado, la hojarasca de *B. brizantha* es la que tiene menor cantidad de taninos en comparación con *P. conjugatum* (0,2 y 0,6).

Cuadro 24 . compuestos secundarios y digestibilidad en especies de árboles y pastos

Especie	Componente	Tanninos	Digestibilidad
		%	%
<i>Guazuma ulmifolia</i>	hojas	2,9	43,5
<i>Guazuma ulmifolia</i>	frutos	2,7	37,3
<i>Pithecellobium saman</i>	hojas	5,8	40,9
<i>Braquiaria brizantha</i>	hojarasca	0,2	52,0
<i>Paspalum conjugatum</i>	hojarasca	0,6	54,5

4.14 Fertilidad de suelos

4.14.1 Características físico-químicas de los Suelos con y sin influencia de árboles.

Para el análisis de suelo se tomaron en cuenta árboles que tuvieran menos influenciados por la deposición de hojarasca de otros árboles. Se escogieron los puntos de mayor deposición de hojarasca y los de menor, los cuales correspondían al oeste y al este, respectivamente.

Cuadro 25. Características químicas de los suelos de dos fincas de Muy Muy.

Finca	Posición	pH		acidez		Ca		Mg		K		P		CT		NT	
												mg/kg	%	%			
Los Diamantes	BC <i>Pithecellobium</i>	5,7	b	0,1	a	21,5	a	4,3	a	0,3	b	4,0	b	6,5	a	0,6	a
	BC <i>Guazuma ulmifolia</i>	6,8	a	0,1	a	21,7	a	5,6	a	1,3	a	8,7	a	6,0	a	0,5	ab
	fuera de copa	5,9	b	0,1	a	20,8	a	5,0	a	0,4	b	2,4	b	6,1	a	0,5	ab
La Estrella	BC <i>Pithecellobium</i>	6,1	b	0,1	a	24,2	a	6,0	ab	0,6	b	6,4	b	6,3	a	0,6	a
	BC <i>Guazuma ulmifolia</i>	6,4	a	0,1	a	19,5	a	5,9	ab	1,4	a	33,0	a	5,8	a	0,6	a
	fuera de copa	6,3	a	0,1	a	24,0	a	6,9	a	0,8	b	7,7	b	5,7	a	0,5	a

*Comparaciones Duncan; letras distintas en una columna muestran para el mismo sitio diferencias significativas (p<0.05).

CT=carbono total; NT=nitrógeno total. BC= bajo de copa.

No se encontraron diferencias en acidez para las distintas posiciones, pero si se encontraron diferencias significativas en el pH (p<0,0001), siendo el más alto el que se encuentra bajo la copa de *G. ulmifolia* en la finca los Diamantes (6,8), mientras que los que estaban bajo la copa de *P. saman* y fuera de copa en esta misma finca presentaron valores más ácidos (5,7 y 5,9, respectivamente). Similar comportamiento se encontró en la Estrella, el pH parece ser más alto bajo la copa de *G. ulmifolia*, alcanzando un valor de 6,4 y los más bajos fuera de copa y bajo de *P. saman* (6,3 y 6,1, respectivamente) (Cuadro 25). En ambas fincas el pH bajo de *P. saman* fue más ácido, esto concuerda con Solórzano *et al.* (1998), los cuales

reportan que el pH era ligeramente más ácido bajo copa de *P. saman* que fuera de esta (5,43 y 5,77, respectivamente). El presente estudio contrasta con una investigación realizada por Belsky *et al.* (1993), en sabanas que tienen alta y baja precipitación, donde no encontraron cambios significativos en el pH entre las zonas bajo copa de árboles aislados (*Acacia tortilis* y *Adansonia digitata*) y pleno sol.

No se encontraron diferencias significativas en el contenido de Ca ($p=0,7417$) en ninguna de las posiciones evaluadas para ninguna de las dos fincas. En contraste con Belsky *et al.* (1993) quienes obtuvieron diferencias significativas entre el Ca que estaba debajo de la copa de los árboles (*A. tortilis* y *A. digitata*) y el que estaba en área sin influencia de los árboles (960 y 600 mg kg⁻¹, respectivamente).

Sin embargo, en los Diamantes los valores absolutos para Mg más altos estaban bajo la copa de *G. ulmifolia*. En cambio en La Estrella se muestra un patrón totalmente diferente, hallándose los valores más altos en la posición fuera de copa (6,93 cmol (+)/kg) y los valores menores bajo de copa de *P. saman* y *G. ulmifolia*; no obstante, no se encontraron diferencias significativas en el Mg ($p=0,1599$), y con estos resultados contrastantes no hay evidencia de que la presencia de los árboles afecta las concentraciones de Mg en el suelo de bajo de sus copas.

No se encontraron diferencias significativas en C total ($p=0,8961$), con valores entre 5,7 y 6,5%. Tampoco se encontraron diferencias significativas en N total ($p=0,7685$). Sin embargo, para las dos fincas los valores absolutos mayores de N total se encontraron bajo la copa de los árboles de *P. saman*. Esto concuerda con Durr y Rangel (2000), los cuales reportan que el suelo que estaba bajo de copa y en las cercanías de *P. saman* tenía más N que el que estaba fuera de copa (0,24, 0,16 y 0,10%, respectivamente). Igualmente, Daccarett y Blydenstein (1968) observaron que el N que se encontraba entre los 0-20 cm del suelo era mayor en las áreas influenciadas por la copa de los árboles leguminosos (*P. saman*, *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium*) en comparación con árboles no leguminosos (*Cordia alliodora*) y fuera de copa (0,38, 0,35, 0,32, 0,25 y 0,28%), respectivamente). Esto coincide con lo encontrado en este estudio, debido a que *G. ulmifolia* no es una leguminosa y presenta valores menores de este elemento en comparación con *P. saman*. También concuerda con

Solórzano *et al.* (1998) quienes encontraron que el contenido de N varía a lo largo de la distancia al tronco de *P. saman*, siendo mayor en lugares cercanos al mismo (0.29%) comparado con fuera de copa (0,25%).

El análisis de suelo solamente se hizo en la época seca (enero); al no hacerlo en la época lluviosa talvez no permite ver las diferencias en la influencia de los árboles en el N en el suelo, porque la mayor parte de la hojarasca todavía no había caído. Además, es después de la época seca cuando la mayoría de la hojarasca acumulada se descompone y podría ser medible. Por lo tanto, la época del muestreo parece ser un aspecto importante para tomar en cuenta cuando se quiere estudiar el efecto de los árboles en el suelo, algo muy pocas veces indicado en la literatura (ninguno de los estudio citados indica la fecha del muestreo). Por otra parte, la ausencia de efectos claros indica que el efecto “historial” de la caída de hojarasca de árboles en pasturas es limitado. Solórzano *et al.* (1998) determinaron que el N total era mayor en la época seca que en la lluviosa (0,28 y 0,25%, respectivamente) y que el aumento en las concentraciones de este nutriente en el suelo durante la época lluviosa se debe a que los procesos de mineralización y nitrificación se ven favorecidos con las lluvias, presentando tasas más altas en este estación que en la seca. Por el contrario, en la época seca, al disminuir la actividad biológica se da un proceso de acumulación de hojarasca (menor cantidad de lluvias y por mayor temperatura) y por lo tanto de N que esta contiene esta retenido. Los resultados del trabajo actual concuerdan con lo reportado por la literatura, la cual expone que el aporte de N es uno de los beneficios que dan los árboles leguminosos fijadores de N, como *P. saman*, al obtenerlo mediante la fijación simbiótica y ponerlo a disposición de los cultivos o pasturas que crecen cerca de ellos mediante la hojarasca que desprenden. El resultado que los valores absolutos más altos en N se encontraron en el suelo que esta bajo de la copa de *P. saman* es consistente con el hecho que las concentraciones de este elemento son mayores en la hojarasca de *P. saman* que en la de *G. ulmifolia*.

Las concentraciones promedios de K fueron más altas ($p=0,0014$) bajo la copa de *G. ulmifolia* en ambas fincas (1,4 cmol (+) kg^{-1} en La Estrella y 1,3 cmol (+) kg^{-1} en Los Diamantes). Esto podría ser debido a que varios componentes de la hojarasca (ramas, frutos, epífitas) de *G. ulmifolia* tienen mayores concentraciones de K que las de *P. saman* y como estos componentes hacen un aporte importante al sistema ejercen mayor influencia en estas áreas. Efectos similares en el suelo han sido encontrados en estudios realizados por Belsky *et*

al. (1993), los cuales reportan valores más altos de K en las zonas mas cercanas a los árboles y menores concentraciones conforme se alejaba de este, siendo el valor más bajo el que estaba fuera de copa ($p < 0,05$). En una investigación realizada en Venezuela, la concentración de K en el suelo era más alta en áreas influenciadas por la copa (*P. saman*) que a pleno sol (467 versus 197 ppm, correspondientemente (Solórzano *et al.* 1998), efecto que no se encontró en el presente estudio.

En La Estrella el contenido de P fue mucho mayor ($p = 0,0001$) bajo de la copa de *G. ulmifolia* (33 mg kg^{-1}). Asimismo, en Los Diamantes se reportaron diferencias entre las tres posiciones ($p = 0,0001$), las mayores concentraciones de P se encontraron bajo de la copa de *G. ulmifolia* ($8,7 \text{ mg kg}^{-1}$) en comparación las áreas que están bajo la influencia de *P. saman* y a pleno sol ($4,0$ y $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente). Estas diferencias se deben a que *G. ulmifolia* es la especie que tiene mayor concentración de P en las hojas, flores, frutos y epífitas que *P. saman*. Esto demuestra, que no solo es importante la cantidad de material que cae, sino también la calidad nutricional de los mismos. Durr y Rangel (2000), reportan que el suelo que estaba bajo de copa y en áreas cercanas a la copa de *P. saman* tenía más P que el que estaba fuera de copa ($44,50$, $27,5$ y $22,2$ ppm, respectivamente). Asimismo, Belsky *et al.* (1993) determinaron que el P fue más alto en las zonas mas cercanas a los árboles que fuera de copa ($p < 0,05$). El hecho de no encontrar diferencias en el contenido de P entre el suelo que esta influenciado por *P. saman* y fuera de copa, coincide con una investigación en donde encontraron que el contenido de P en el suelo a distintas distancias del tronco de *P. saman* no mostró diferencias, pero si mostraron valores absolutos más altos bajo de copa que fuera de copa ($63,92$ y $25,08$ ppm, respectivamente para P) (Solórzano *et al.* 1998). Las altas concentraciones de P bajo de la copa de *G. ulmifolia* es consistente con que la hojarasca de esta especie que presenta mayores concentraciones de este elemento. Esto puede explicar porque los suelos son más ricos en este nutriente que los que se encuentran bajo de *P. saman*.

Guazuma ulmifolia aumentaba (de forma consistente) en el suelo las concentraciones de K, P, Mg y los suelos que están bajo su influencia presentaron pH más altos que *P. saman*. En cambio, *P. saman* es la especie arbórea que presentó mejor contenido de N en el suelo. Esto puede demostrar la importancia de los árboles en el aporte de nutrientes dentro de los sistemas silvopastoriles. Sin embargo, no se puede concluir que estas diferencias se deban

solamente a la hojarasca aportada por los árboles, debido a que existen dentro del sistema otros factores que pueden aumentar la concentración de nutrientes en las áreas bajo de la copa de los árboles; tales como: las heces de los animales que se congregan buscando la sombra, la descomposición de las raíces y la influencia de las diferentes especies que crecen bajo de los árboles (diferente composición botánica a la encontrada en zonas fuera de copa).

Cabe recalcar que estos resultados expuestos anteriormente sobre los suelos se deben de tomar con cautela. Era difícil conseguir árboles experimentales que no tuvieran la influencia de la hojarasca de otros, a pesar de que se seleccionaron los árboles más aislados posibles; cabe la posibilidad de que hayan tenido una influencia de otros. Eran pocos los árboles que estaban totalmente aislados, por lo que no se pudieron hacer más repeticiones, limitando las inferencias estadísticas. Otro aspecto, es que la cantidad de nutrientes en el suelo depende de gran cantidad de factores, entre los que se encuentran el tipo de suelo; los potreros de Muy Muy se caracterizan por ser muy heterogéneos en cuanto a los tipos de suelo, presentándose todo un mosaico a través del paisaje. Había casos de árboles que en una dirección tenían un tipo de suelo y en el punto cardinal contrario tenían otro. Esto dificulta la interpretación de los análisis de suelos, debido a que no se sabe a que se debe la concentración de nutrientes encontrada, ya que esta puede deberse más al tipo de suelo que al efecto del árbol. El cambio en el tipo de suelo de un punto a otro dentro del mismo árbol estaba evidenciado por los cambios grandes en materia orgánica (al este 5 y al oeste 11%). Además, los valores altos de K y P, que se presentan en algunos guácimos más que en otros, evidencian la deposición de heces en estas áreas, ya que estos nutrientes son indicadores de la presencia de heces.

Las diferencias también pueden deberse a que cierta especie arbórea solamente se desarrolla sobre cierto tipo de suelos y por lo tanto las diferencias encontradas no se deben al tipo de árbol, sino que se dan por diferencias existentes en el suelo, las cuales conllevan a la heterogeneidad en la presencia del componente arbóreo.

4.14.1.1 Interpretación de la fertilidad del suelo

Las texturas que predominan en ambas fincas son arcillosa, franco y franco arcillosa. Los suelos están clasificados como moderadamente ácidos en Los Diamantes a excepción de las áreas que están bajo de copa de *G. ulmifolia* que son ligeramente ácidos. En La Estrella son ligeramente ácidos, por lo cual presentan una buena condición para el desarrollo de los cultivos, debido a que bajo estas condiciones de acidez las interferencias en la absorción de nutrientes son mínimas (Kass 1998). El C total no presentó diferencias significativas ($p=0,8961$) entre las áreas bajo de copa y fuera de la influencia de los árboles.

El contenido de Ca en las dos fincas es alto en estos suelos, encontrándose en niveles óptimos, acorde a las guías de interpretación de suelos del CATIE (Kass 1998). Para el Mg y K, los valores que se encuentran son medios, a excepción del K en las áreas que están influenciadas por la copa de *G. ulmifolia* en La Estrella, donde se presentan altas concentraciones de este elemento. En ambas fincas el P es bajo; es decir, que esta deficiente en estos suelos. Solamente bajo de la copa de *G. ulmifolia* se encuentran valores altos.

Hay balance entre las relaciones Ca/Mg, y Mg/K, en cambio Ca+Mg/K y Ca/K están desbalanceadas tanto en los suelos que están de bajo de la copa de *P. saman* como fuera de copa; solamente bajo de *G. ulmifolia* esta balanceada. Esto implica que el contenido de Ca es muy alto comparado con el contenido de K, por lo que afectan la velocidad de absorción del K por las raíces de las plantas.

Asimismo, el contenido de N total esta alto (entre 0,5 y 0,6%) y la acidez extraíble es baja, lo cual implica que el porcentaje de saturación de acidez es bajo (encontrándose valores entre 0,22 y 0,32%) y el CIC (capacidad de intercambio catiónico) es alta con valores que oscilan entre 25 y 32 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$. Todas estas características indican que estos suelos tienen alta fertilidad. No se encontraron diferencias significativas entre las distintas posiciones.

4.15 Observaciones respecto a la metodología para evaluar hojarasca de árboles aislados y de pastos en sistemas silvopastoriles

4.16 Hojarasca de árboles

Acorde a los resultados encontrados con las trampas redondas y lineales se plantean las siguientes sugerencias:

El estudio de hojarasca se debería de realizar con trampas redondas de 1 m², debido a que estas son más baratas que las trampas lineales e implican menor trabajo en el campo. Esto aumenta la posibilidad de tener más replicaciones (árboles) en el campo, lo que permite evaluar la variabilidad en la producción de hojarasca entre los individuos de la misma especie; además de aumentar la sensibilidad del estudio. La distribución de las trampas debe ser estratificada, incluyendo los cuatro puntos cardinales; es decir, tanto áreas, incluyendo tanto las que tienen mayor como menor influencia de los vientos, debido a que los componentes de la hojarasca que son más influenciados por el viento (hojas y flores) se depositan más en las posiciones que van acorde a la dirección del viento.

Se encontraron que había dos picos de producción de hojarasca (uno en la mitad de copa y el otro en el borde de copa), especialmente en las direcciones más influenciadas por el viento. En el caso de estudios de hojarasca de árboles aislados por cada punto cardinal se recomienda poner una trampa a: un metro del tronco del árbol, a mitad de copa, borde de copa y a tres metros del borde de copa. Esto da un total de 16 trampas por árbol. Hay que calcular usando anillos sucesivos, el área muestreada por posición.

En sistemas silvopastoriles es importante que las trampas se protejan del pastoreo (cercarse), porque el ganado daña las trampas y bota la hojarasca que hay en ellas. En el presente estudio no hubo evidencia que los animales comieron hojarasca, a excepción de los frutos. También es necesario poner dentro de las trampas piedras o algo pesado, para que el viento no las levante y saque la hojarasca de las trampas. El sarán es un buen material para elaborar las trampas debido a que cuando llueve escurre y se seca rápidamente, lo que disminuye la posibilidad de que se descomponga la hojarasca, antes de su recolección. La recolección se debe de hacer cada siete días en época lluviosa y cada 14 la estación seca.

Sin embargo, la recolección de la hojarasca cada siete días funciona solo en hojas, ramas pequeñas, frutos y epífitas. En el caso de las flores, como son materiales muy tiernos y pequeños podrían descomponerse más rápido, especialmente en días muy lluviosos; por lo que se recomienda acortar a tres días la recolección del material durante la época de floración, si hay un interés especial en este componente.

Es importante medir la deposición de epífitas cuando se está evaluando la hojarasca de los árboles, debido a que éstas contribuyen al reciclaje de nutrientes, porque depositan cantidades considerables de hojarasca y porque estas tienen altas concentraciones de nutrientes.

Los análisis de la hojarasca de árboles se deben de hacer por componente (hojas, ramas, raquis, flores, frutos y epífitas) de forma mensual, debido a que se encuentran diferencias en la concentración de nutrientes a lo largo del año, por los cambios fenológicos de las especies.

4.17 Hojarasca de pastos

Para la recolección de la hojarasca de pastos se debe de usar el marco de 0.5 m² para *B. brizantha* por su tipo de crecimiento. Para *P. conjugatum* es suficiente 0.25 m², aunque esto aumenta el área relativa de error de borde, escoger un marco más grande es muy complicado en esta especie, debido a que la recolección de este tipo de hojarasca lleva mucho trabajo, lo cual puede conllevar a otros tipos de errores y/o tener que reducir la replicación del muestreo. Los intervalos deseables de recolección de hojarasca de pastos eran de siete días, menores a los encontrados en otros estudios (14 días). Los siete días de intervalo funcionó para *B. brizantha* por el tipo de hoja y porque su descomposición es más lenta (k más bajo) que *P. conjugatum*. Sería mejor acortar el tiempo de recolección para *P. conjugatum* a cuatro días, para disminuir el riesgo de que se descomponga material y no se le este tomando en cuenta, con lo cual se podría subestimar la producción de hojarasca.

Las posiciones para la toma de la hojarasca de los pastos deben de tener en cuenta tanto las áreas que están más influenciadas por la deposición de hojarasca como aquellas que tienen

menor caída. Estas deben de estar entre el borde de copa y un metro afuera, si se quiere medir la influencia potencial de los árboles, bajo de la copa de los árboles no crecen los pastos o están más mezclados. Lo que se debe de procurar es que los sitios donde se va a hacer el muestreo los pastos estén lo más homogéneo posible. No se sabe hasta que distancia ocurre la influencia de los árboles aislados, por lo que para seleccionar el área de muestreo de pasto fuera de copa, se debe de seleccionar sitios con la menor influencia de la hojarasca de los árboles, ya sean de la especie que se esta estudiando como de otras existentes en los potreros.

Para tomar en cuenta solo la producción de hojarasca y disminuir el error causado por el suelo que se le adhiere a la hojarasca, se debe de determinar en el laboratorio la cantidad relativa de ceniza en la hojarasca que esta en el suelo y de hojarasca que todavía esta adherida a las plantas, para poder corregir y eliminar el suelo. También es importante hacer una separación de la hojarasca a través de una malla o cedazo de 5 mm ya que el material que pasa es material en grado avanzado de descomposición y se le puede considerar materia orgánica. Se calculó que esto era menos del 5%, por lo que no afectó los cálculos de hojarasca de pastos en el presente estudio.

Para tener una mejor idea de la variabilidad en la producción de hojarasca de pastos, se debería de aumentar el número de repeticiones por lo menos a cinco, en cada uno de los sitios de recolecta. Es importante no proteger a las muestras del pastoreo, debido a que se observó que después del pastoreo se aumentó la producción de hojarasca, porque los animales a veces arrancan parte de la planta desde raíz o desprenden parte de la hojarasca que esta adherida a la planta sin correrlo. Durante este estudio no se presento el caso de que las muestras de pastos fueran arruinadas por que los animales depositaran heces en ellas, pero esto puede suceder, por lo tanto es mejor tener más repeticiones para poder eliminar una muestra contaminada.

5 CONCLUSIONES

- ✚ Los árboles de *P. saman* aportan mayor cantidad N por metro cuadrado, en cambio *G. ulmifolia* aporta mayor cantidad de P, K, Mg y Ca por metro cuadrado.
- ✚ Las epífitas forman parte importante de la hojarasca, tanto por su aporte de biomasa como el contenido de nutrientes que tienen, por lo que se deben de incluir en los estudios del aporte de hojarasca de árboles.
- ✚ La distribución de los componentes livianos de la hojarasca (hojas y flores) es fuertemente influenciada por el viento en la zona. La deposición se concentra en el oeste y sur; por lo tanto en estas direcciones los árboles van a tener mayor influencia en el ciclaje de nutrientes que en el norte y el sur de cada árbol
- ✚ Los árboles individuales de las dos especies presentaron los picos de producción de hojarasca de hojas, flores y frutos en distintos momentos, al igual que los momentos de revestimiento. Esto se debe a que los eventos fenológicos se ven afectados por las condiciones de micro sitios, así como aspectos intrínsecos de los árboles.
- ✚ *P. conjugatum* es un pasto que aporta entre 2 y 3 veces mayor cantidad de N que los árboles de *P. saman* y *G. ulmifolia*, respectivamente y 1.2 veces más que *B. brizantha*.
- ✚ Existe cierta tendencia de los árboles de *G. ulmifolia* y *P. saman* a incrementar ligeramente las concentraciones de nutrientes en las zonas que están influenciadas por ellos en comparación con los suelos que se encuentran sin la deposición de hojarasca.
- ✚ La *B. brizantha* produce mayor cantidad de hojarasca que *P. conjugatum* aunque esta última es más rica en nutrientes. Como resultante de ambas factores, se estima que *B. brizantha* recicla .13-53% más de nutrientes.
- ✚ La época tiene influencia significativa en la cantidad de hojarasca existente de hojarasca de los pastos. Se presenta una acumulación en el verano debido a reducida descomposición, mientras en invierno las tasas de descomposición son más altas y la cantidad de hojarasca existente es menor.

6 RECOMENDACIONES

- ✚ Para tener una mejor idea de la distribución espacial de la hojarasca se debería de intensificar el muestreo normalmente usado, poniendo trampas en medio de los cuatro puntos cardinales.
- ✚ Para tener mejor información de la variabilidad temporal de la hojarasca de pastos y de árboles se debería de ampliar la toma de datos en campo, hasta completar los dos años.
- ✚ Estudiar el efecto de distintos tamaños de árboles en el aporte de nutrientes para evaluar su contribución al reciclaje de nutrientes.
- ✚ Para tener un panorama completo del reciclaje de nutrientes en las pasturas se debería de incorporar las otras especies que son más representativas muy comunes dentro de los potreros.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, S. 1997. Ganadería de carne amiga del medio ambiente y los bosques: una alternativa de producción sostenible. *Agronomía Costarricense* 21(2): 285-298.
- Bellows B. 2001. Nutrient cycling in the pastures: livestock systems guide (en línea). Consultado 25 oct. 2005. ATTRA, California, US. Disponible en: <http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/nutrientcycling.pdf>
- Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soil. *Forest Ecology and Management* 133:13-22.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación costarricense de la ciencia del suelo. San José, CR, ACCS. 157 p.
- Belsky, AJ; Mwonga, SM; Amudson, RG; Duxbury, JM; Ali, AR. 1993. Comparative Effects of isolated trees on their undercanopy environments in high and low rainfall savannas. *The Journal of Applied Ecology* 30(1):143-155.
- _____. 1994. Influences of tree savanna productivity: test of shade, nutrients and tree-grass competition. *Ecology* 75(4):922-932.
- _____; Amudson, RG. 1998. Influence of savannah trees and shrubs on understory grasses and soil: new directions in research. *In* Bergströms, L; Kirchman, H. (Eds). Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems. Sweden, CAB-International. 153-171.
- Boddey, RM; Macedo, R; Tarré, RM; Ferreira, E; Oliveira, OC. Rezende, C; Cantauritti, RB; Pereira, JM; Alves, BJ; Urquiaga, S. 2004. Nitrogen cycling in *Brachiaria* Pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:389-403.

- Bolivar Vergara, DM. 1998. Contribución de la *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 97 p.
- Bolivar Vergara, D.; Ibrahim, M.; Kass, D. 1999. Características Químicas de un Suelo Ácido y Composición Mineral de *Brachiaria humidicola* Bajo un Sistema Silvopastoril con *Acacia mangium*. Agroforestería en las Américas
- Botero, R. 1999. La Ganadería intensiva basada en forrajes tropicales como una opción a la crisis cafetera (en línea). Mercedes de Guácimo, CR, EARTH. Consultado el 23 de sep. de 2005. Disponible en: <http://www.bibliotecaonline.net/earth/>
- _____. Ruso, RO. 2000. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales (en línea). Memorias: Conferencia Latinoamericana sobre Agroforestería para la producción animal tropical. Consultado el 23 abril 2005. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/cipav/conf/index/htm>
- Bruce, RC; Ebersohn, JP. 1982. Litter measurements in two grazed pastures in south east Queensland. *Tropical Grasslands* 16(4):180-185.
- Carmona Muñoz, I; Trejos López, C; Ramírez Vallejo, P; García de los Santos, G. 2003. Resistencia a la sequía de *Brachiaria* spp.: aspectos fisiológicos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(003):153-159.
- Carvalho, M. 1997. Asociaciones de pasturas con árboles en la región centro sur del Brasil (en línea). Brasil. Archivos de documentos de la FAO. Consultado 15 sept. 2006. Disponible en: <http://www.virtualcentre.org/silvopastoral/documentos/X6313S00.htm>
- _____; Xavier, DF; Alvim, MJ. 2000. Uso de leguminosas arbóreas en la recuperación y sistentabilidad de pasturas cultivadas (en línea). Archivos de documentos de la FAO. EMBRAPA 16 p. Consultado 2 dic 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6342S/X6342S00.HTM>

- Cascante, A; Quesada, M; Lobo, JJ, Fuchs, EA. 2002. Effects of dry tropical forest fragmentation on the reproductive success and genetic structure of the tree *Samanea saman*. *Conservation Biology* 16(1):137-147.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1991. Guácimo, *Guazuma ulmifolia*: especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, CR. 72 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)/ NORAD (Agencia Noruega para la Cooperación y el Desarrollo). 2002. Proyecto “Desarrollo participativo de alternativas de uso sostenible de la tierra para las pasturas degradadas en Centroamérica”. Turrialba, Costa Rica. 28 p.
- _____. 2006. Los suelos de las áreas de El Chal/Dolores y Muy Muy *In* CATIE. ed. Taller Pasturas en sistemas silvopastoriles de Centro América: bases de conocimiento para su manejo (2006, Turrialba, CR). Memoria. Turrialba, CR. p. 12-13.
- _____. 2006. Caracterización de las fincas en las áreas de Muy Muy. *In* CATIE. ed. Taller Pasturas en sistemas silvopastoriles de Centro América: bases de conocimiento para su manejo (2006, Turrialba, CR). Memoria. Turrialba, CR. p. 12-13.
- Combe, J; Budowski, G. 1979. Clasificación de las técnicas agroforestales. En Taller de Sistemas Agroforestales en América Latina. Turrialba, CR, CATIE. p. 17-48.
- Constantinides, M; Fownes, JH. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biology & Biochemistry* 26(1):49-55.
- Cordero, J; Boshier, DH. (Eds). 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Turrialba, CR, CATIE-OXFORD. 1079 p.

Crespo, G; Rodríguez, I; Sanchez, R; Fraga, S. 1999. Influencia de *Albizia lebbek* y *Leucaena leucocephala* en indicadores del Suelo, el Pasto y los Animales en Sistemas Silvopastoriles In Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible (1er/1999, Cali, Colombia). Memorias (en línea). Cali, CO. CIPAV. s.p. Consultado el 23 de abril de 2005. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/Memorias.htm>

_____; Pérez, A. 2000. Mulch contribution to recycling in permanent pastures. Cuban Journal of Agricultural Science. 34:329-337.

Cuevas, E; Lugo, AE. 1998. Dynamics of organic matter and nutrient return from litter fall in stand of the tropical tree plantation species. Forest Ecology and Management 112:263-279.

Cruz Gámez, L; García, MA. 2002. Análisis de riesgos y plan municipal de reducción de desastres. Muy Muy, NI, AMUNIC-COSUDE. 92 p.

Daccarrett, M; Blydenstein, J. 1968. La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos sobre el forraje que crece bajo ellos. Turrialba 18(4):405-408.

Damon, A. sf. Ecosistemas y comunidades: procesos naturales y sociales de los bosques. Las Epífitas (en línea). Tapachula, MX. Ecosur. Consultado 2 oct. 2006. Disponible en: <http://www.ecosur.mx/Difusi%F3n/ecofronteras/ecofrontera/ecofront18/pdf/epifitas.pdf#search=%22epifitas%20%22>

Durr, PA. 2001. The biology, ecology and agroforestry potencial of the raintree, *Samanea saman* (Jacq.) Merr. Agroforestry Systems 51:223-237.

_____. Rangel, J. 2002. Enhanced forage production under *Samanea saman* in subsumid tropical grasslands. Agroforestry Systems 54:99-102.

Dobereiner, J; Day, JM. 1974. Associative symbioses in tropical grasses. In Proceedings of the 1st International Symposium of Nitrogen Fixation. Eds. WE Newton and C J Nyman. Washington State University Press, Pullman 2:518-538.

Fassbender, HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, CR, CATIE. 491 p.

_____; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina. Colección de materiales educativos n° 81. IICA. 420 p.

Foth, H. 1992. Fundamentos de la ciencia del suelo. México, D.F. ME. Continental. 433 p.

Galicia, L; García Oliva, F; Murillo, Ramón; Oliva, Magdalena. 2002. Flujos de C, N y P al suelo de dos especies de árboles remanentes en una pradera tropical estacional. Acta Botánica Mexicana 61:41-57.

García Roa, M. 2003. Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizados en sistemas silvopastoriles (en línea). Managua, NI, Inafor. 37 p. Consultado 2 oct. 2006. Disponible en:

<http://www.inafor.gob.ni/publicaciones/pdf/Produccion%20Semillas%20forestales%20Especies%20forrajeras%20.pdf#search=%22genizaro%20hojarasca%22>

Giraldo, LA; 1995. Potencial del guácimo como componente forrajero. In Silvopastoreo: alternativa para mejorar la sostenibilidad y competitividad de la ganadería colombiana (1995, Santafé, Bogotá). Memorias. Bogotá, CO, Corpoica. 187-205.

_____; Botero, J; Saldarriaga, J; David, P. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región atlántica de Colombia. Agroforestería en las Américas: 8:14-19.

Giraldo V, 1998. Potencial de la arbórea Guácimo (*Guazuma ulmifolia*) como componente forrajero en sistemas silvopastoriles. Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. Medellín, CO. p. 201-215.

_____; Bolívar Vergara, D. 1999. Evaluación de un Sistema Silvopastoril de *Acacia decurrens* asociada con Pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), en Clima Frío de Colombia.

In Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible (1er/1999, Cali, Colombia). 1999. Memorias (en línea). Cali, CO. CIPAV. s.p. Consultado el 23 de abril de 2005. Disponible en:

<http://www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/Memorias.htm>

Guiamet, JJ. 2004. La senescencia foliar: incógnitas del dismantelamiento celular. Universidad Nacional de La Plata. AR. 5 p.

Harmand, JM; Ndonfack, P; Forkong Njiti, C. 2002. efecto de varias especies de árboles sobre el estrato herbáceo y la dinámica del nitrógeno del suelo en la zona Sudanesa de Camerún. *Agroforestería en las Américas* 9:33-34.

Harmon, P. 2005. Tree of Costa Rica's pacific slope: *Samanea saman* (en línea). San José, CR. Consultado 17 oct. Disponible en: <http://www.cds.ed.cr/teachers/harmon/page64.html>

Haydock, KP; Shaw, NH. 1975. The comparative method for estimating dry matter yield pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandary* 15:169-171.

Henríquez, C; Bertsch, F; Salas, R. 1995. Fertilidad de suelos: manual de laboratorio. San José, CR. ACCS. 64 p.

_____; Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR. ACCS. 112 p.

Hernández Dumas, S; Russell, G. 2001. The tree-grass-soil interaction in silvopastoral systems. In International symposium on silvopastoral systems. Second congress on agroforestry and livestock production in Latin America (2001, San José, Costa Rica). Memoria. San José, CR. p. 136-143.

- Hernández, M; Sánchez, S. 1998. Aporte del follaje arbóreo en la producción de guinea y en la fertilidad del suelo. III Taller Internacional Silvopastoril. Los árboles y arbustos en la ganadería. Matanzas, CU. 130 p.
- Hireman, AJ; Ewel, JJ; Thomas, GC. 2001. Nutrient use efficiency in three fast-growing tropical trees. *Forest Science* 48(4):662-672.
- Humphrey, LR. 1991. Tropical pasture utilisation. Cambridge University. New York, US. 218 p.
- Hunter, IR; Stewart, JL. 1993. Foliar nutrient and nutritive content of Central American multipurpose tree species growing at Comayagua, Honduras. *Commonwealth Forestry Review* 72(3):193-197.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2004. Artículo meteorológico: vientos alisios (en línea). Managua, NI. Consultado el 30 de oct. 2006. Disponible en: (<http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/Boletines/Boletin%20Climatico/Boletin%20Climatico%202004/Diciembre/articulo%20meteorologico.htm>)
- Ibrahim, M; Camero, A; Camargo, JC; Andrade, H. 1999. Sistemas Silvopastoriles en América Central: Experiencias de CATIE *In* Seminario internacional sobre sistemas agropecuarios sostenibles (6,1999, Cali, CO). Memoria. Cali, CO. p. 1-7.
- Iriondo, E; Alvarez, E; China, A; Borroto, D. 1998. Experiencias campesinas sobre la utilización de árboles y arbustos en huertos caseros. *In* III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería" EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, CU. p. 258-262.
- Jamaludheen, V; Kumar BM. 1999 Litter of multipurpose trees in Kerala, India: variations in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. *Forest Ecology and Management*, 115:1-11.
- Janzen, DH. 1982a. Cenízaro tree (leguminosae: *Phytocellobium saman*) delayed fruit development in Costa Rican Deciduous forest. *American journal of Botany* 69(8):1269-1276.

- _____. 1982b. Natural history of guácimo fruit (Sterculiaceae: *Guazuma ulmifolia*) with respect to consumption by large mammals. American journal of Botany 69(8):1240-1250.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation in Central America in the 80s and 90s: A policy perspective. Indonesia, CIFOR-Jakarta. 88 p.
- Kass, D. 1998. Fertilidad de suelos. Ed. J Nuñez Solís. San José, CR, EUNED. 272 p.
- Kogel-Knabner, I. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as input to soil organic matter. Soil Biology & Biochemistry 34:139-162.
- Lowry, JB. 1989. Agronomy and forage quality of *Albizia lebbek* in the semi-arid tropics. Tropical Grasslands 23:84-91.
- Lehmann, J; Schroth, G; Zech, W. 1995. Decomposition and nutrient release from leaves, twigs and roots of three alley-cropped tree legumes in central Togo. Agroforestry Systems 29:21-26.
- Lobo Di Palma, MV; Díaz Sánchez, O. 2001. Agrostología. San José, CR. EUNED. 176 p.
- Mafongoya, PL; Giller, KE. Palm, CA. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns tree prunnings and litter. Agroforestry Systems 38:77-97.
- Menezes, RS; Salcedo, IH; Elliott, ET. 2002. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. Agroforestry Systems 56:27-28.
- MIDESAP (Ministerio de desarrollo agropecuario y reforma agraria: dirección general de ingeniería y fomento agropecuario). 1985. Estudios de suelos del área del proyecto lechero héroes de Pancasan, Managua, NI. Dirección de estudios de base de suelos y aguas, departamento de suelos. 240 p.
- MIDINRA 1987. Dos años de avances de investigación en fertilidad de suelos en la sexta región. Matagalpa, NI. 125 p.

- Montagnini F., Ramstad K., Sancho F. 1993. Litterfall, litter decomposition and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 23: 39-61.
- _____; Jordan, CF. 2002. Reciclaje de nutrientes. *In* Guariguata, MR; Kattan, GH (eds). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. EULAC/GTZ. LUR, Cartago, CR. 168-191
- Nahed, TJ; Alemán, ST; Jiménez, FG; López Tirado, Q; Grande, CD; Aluja, SA; Sanginés, GL; Pérez Gil, RF; Parra, VMR. 2001. Estudio para desarrollar sistemas silvopastoriles: experiencias en la región Maya-Tzotzil (en línea). Roma, IT. FAO. sp. Consultado 31 oct. 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4435S/y4435s0s.htm>
- Nair, PKR. 1997. *Agroforestería*. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, ME. 543 p.
- Negi, GCS ; Singh, SP. 1993. Leaf nitrogen dynamics with particular reference to retranslocation in evergreen and deciduous tree species of Kumaun Himalaya. *Canadian journal of forest Research* 23(3): 349-357.
- Norton, BW; Wilson, JR; Shelton, HM; Hill, KD. 1990. The Effect of shade on forage quality *In* Shelton, HM; Stürr, WW. (eds). *1900 Forages for plantation crops (1990, Bali, Indonesia) (Memorias)*. 83-88 p.
- Nunes, YRF; Fagundes, M; Santos, RM; Domingues EBS; Almeida, HS; Gonzaga, AP. 2005. Atividades fenológicas de *Guazuma ulmifolia* Lam (Malvaceae) em uma floresta estacional decidual no norte de Minas Gerais. *Lundiana* 6(2):99-105.
- Oliveira, OC; Oliveira, IP; Alves, BJR; Urquiaga, S; Boddey, RM. 2004. Chemical and biological indicators of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 103:289-300.

- Palm, CA; Sánchez, PA. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology & Biochemistry* 23 (1):83-88.
- _____. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* 30:105-124.
- Penton, G; Blanco, F. 1997. Influencia de la sombra de los árboles en la composición química y el rendimiento de los pastos. *Pastos y Forrajes* 20:101-110
- Pentón Fernández, G. 2000. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. Tesis Mag. Sc. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” EEPF “Indio Hatuey”. sp.
- Person, CJ; Ison, RL. 1987. *Agronomy of grassland systems*. New York, US. Cambridge. 169 p.
- Peters, M; Franco, LH; Schmidt, A; Hincapié, B. 2003. Especies forrajeras de doble propósito: opciones para productores de Centroamérica. Cali, CO. CIAT, BMZ, GTZ. 114 p.
- Petit, J. 1994. *Árboles y arbustos forrajeros*. Mérida, VE. Instituto forestal latinoamericano. 174 p.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. *Sistemas silvopastoriles: Módulo de enseñanza agroforestal N° 2*. 2da edición. Turrialba, CR. CATIE/GTZ. 275 p.
- Ramos Veintimilla, RA: 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 82 p.
- Reynolds BC, Hunter MD. 2001. Responses of soil respiration, soil nutrients, and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. *Soil Biology & Biochemistry* 33:1641-1652.
- Rezende, CP; Cantarutti, RB; Braga, JM; Gomide, JA; Pereira, JM; Ferreira, E; Tarré, R; Macedo, R; Alves, BJR; Urquiaga, S; Cadisch, G; Giller, KE; Boddey, RM: 1999. Litter deposition and

disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 54:99-112.

Ribaski, J; Menezes, E. 2002. Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semi-árida Brasileña. *Agroforestería en las Américas* 9(33-34):8-18.

Russo, R; Botero, R. 1999. El componente arbóreo como recursos forrajero en los sistemas silvopastoriles. Mercedes de Gúacimo, CR, EARTH. 16 p.

Sae-Lee, S; Vityakon, P; Prachaiyo, B. 1992. Effects of tree on paddy bund on soil fertility and rice growth in Northeast Thailand. *Agroforestry Systems* 18:213-223.

Salas Estrada, JB. 1993. Árboles de Nicaragua. Managua, NI. IRENA. 390 p

Sánchez, S; Hernández, M; Simón, L. 1998. Diversidad de los organismos del suelo bajo un sistema silvopastoril. III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería". EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. p. 295-297.

Santos, RSM; Alves, BJR; Urquiaga, S; Boddey, RM. 2006. Avaliação da produtividade primária aérea líquida de três espécies de Brachiaria sob diferentes taxas de lotação. In: Alves, B.J.R. et al. (Eds). Manejo de Sistemas Agrícolas: Impacto no Seqüestro de C e nas Emissões de Gases de Efeito Estufa. Porto Alegre: Genesis. p. 133-156.

Schroth, G. 2002. Decomposition and nutrient supply from biomass. In Schroth, G; Sinclair, FL. 2002. Trees, crops and soil fertility : concepts and research methods. Wallingford, Oxon, UK, CABI . 131-149.

_____. 2003. Descomposition and nutrient supply from biomass. In Schroth, G; Sinclair, FL. eds. Trees, crops and soil fertility: Concepts and methods. Wallingford, Oxon, UK. CABI Publishing. p. 131-159.

- Solorzano, N; Arends, E. 1998. Composición química del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) influenciado por la sombra de árboles de saman (*Samanea saman* (Jacq.) Merrill) en Portuguesa. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología* 16(1):1-16.
- Solórzano, N; Arends, E; Escalante, E. 1998. Efectos del Saman (*Samanea saman* (Jacq.) Merrill) sobre la fertilidad del suelo en un pastizal de (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) en Portuguesa. *Revista Forestal Venezolana* 42(2):149-155.
- Somarriba, E. 1984. Pasture growth and floristic composition under the shade of guajaba (*Psidium guajava*) trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 6:153-162.
- Staples, GW; Elevitch, CR. 2006. *Samanea saman* (rain tree) (en línea). Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. Consultado 23 sep. 2006. Disponible en: <http://www.agroforestry.net/tti/Samanea-raintree.pdf#search=%22samanea%20saman%22>
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover. Cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. CATIE. DANIDA, GTZ. 71 p.
- Thomas, RJ. 1992. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass and Forage Science* 47:133-142.
- _____; Asakawa NM. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 25(10): 1351-1361.
- Tothill, JC; Hargreaves, JNG; Jones, RM; McDonald, CK. 1992. A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. Queensland, Australia, CSIRO. 23 p.
- Trofymow, JA; Moore, T; Titus, B; Prescott, C; Morrison, T; Siltanen, M; Smith, S; Fyles, J; Wein, R; Camire, C; Duschene, L; Kozak, L; Kranabetter, M; Visser, S. 2002. Rates of litter decomposition over 6 years in Canadian forests: influence of litter quality and climate. *Canadian Journal of Forest Research* 32:789-804.

- Velasco Trejo, JA. 1998. Productividad forrajera, aporte de fósforo foliar y dinámica de los hongos endomicorrizicos y lombrices, en una pradera de *Brachiaria humidicola* sola y en asocio con *Acacia mangium*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 88 p.
- Villela, DM; Proctor, J. 1999. Litterfall mass, chemistry, and nutrient retranslocation in a monodominant forest on Maraca Island, Roraima, Brasil. *Biotropica*, 31(2):198-211.
- Villanueva, C; Ibrahim, M. 2002. Evaluación de los sistemas silvopastoriles sobre la recuperación de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 9(35-36): 69-74.
- Wedderburn, ME; Carter, J. 1999. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. *Soil Biology & Biochemistry* 31:445-461.
- Welbourn, ML; Stone, EL; Lassoie, JP. 1981. Distribution of net litter input with respect to slope position and wind direction. *Forest Science* 4:651-659.
- Wilson, TB; Thompson, TL. 2005. Soil nutrient distribution of mesquite dominated desert grasslands: changes in time and space. *Geoderma* 126:301-315.
- William-Linera, G; Meave, J. 2002. Patrones fenológicos *In* Guariguata, MR; Kattan, GH (eds). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. EULAC/GTZ. LUR, Cartago, CR. 168-191
- Zotz, G; Andrade, JL. 2002. La ecología y la fisiología de las epífitas y las hemiepífitas. *In* Guariguata, MR; Kattan, GH (eds). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. EULAC/GTZ. LUR, Cartago, CR. 272-296.

ANEXOS

Axexo 1 Identificación de fincas ganaderas en Muy Muy, para la determinación de potreros que se usaran en el experimento.

Finca/pasto	<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Paspalum conjugatum</i>	Observaciones
Hacienda “La Lucha” Danilo Membreño		Finca 1 Roble (M, G)* Carao (M, G) Coyote (M) P. saman (M) Guanacaste (G) Laurel (P) Finca 2 Guapinol (M) Carao (M) Roble (G)	Potreros cercanos a los caminos. Tiene árboles juntos.
Hacienda “La Estrella” Luis Fonseca	Coyote (M) Roble (M) P. saman (M) G. ulmifolia (M) Carao (G, M)	Coyote Carao P. saman Ceiba Jobo	Se pueden escoger unos árboles con pasturas mejoradas para llevar a cabo el experimento.
Luis Rocha		Roble M G Carao M G	Gran cantidad de robles, si se ralea unos cuantos árboles se puede ocupar
Marcos Cisneros		P. saman (G, M) Carao (G, M) Coyote (M)	Hay árboles separados, grandes, se puede usar para establecer las trampas de hojarasca.
Ricardo Araúz		Roble (M) Carao (M) P. saman (M, G)	Se pueden usar algunos árboles para establecer el experimento.
Rafael Lumbí	Carao (M, G) P. saman (M,G) Coyote (M, G) Roble (M, G)		Se puede utilizar si se ralea.
Antonio Roque		Carao (M, G) P. saman (M, G) Coyote (M) Eucalipto (M)	Árboles muy cerca unos de otros.
Finca ganadera cubana		<i>P. saman</i> Roble Carao	Potreros cerca de casas, árboles muy cerca unos de otros.
Santana Plata		Carao (G, M) P. saman (G, M)	No había pasto natural, sino una mezcla de varias especies.
Los Diamantes Otilio Castro		Roble (P, M) P. saman (M, G) Carao (M) Guanacaste (M) G. ulmifolia (M)	Hay una alta densidad de árboles, muy pequeños. Se pueden usar algunos árboles en otro potrero.
Vidal		P. saman (M) Carao (M) Ceiba (M)	Árboles muy cercanos a camino y muy juntos.

2* (P= pequeño, M= mediano, G= grande)

*G. ulmifolia (*Guazuma ulmifolia*), roble (*Tabebuia rosea*), P. saman (*Phitecellobium saman*), laurel (*Cordia alliodora*), cedro (*Cedrela odorata*), carao (*Cassia grandis*), coyote (*Platymiscium pleiostachyum*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), granadillo (*Platymiscium dimorphandrur*), guapinol (*Hymenaea courbaril*), ceiba (*Ceiba pentandra*), jobo (*Spondias mombin*), eucalipto (*Eucalyptos globulus*), indio desnudo (*Bursera simaruba*),

Anexo 2. Variables dasométricas de los árboles dispersos en potreros de las fincas de Muy Muy.

Especies de árboles	Dap promedio (cm)	Área de copa promedio (m)	Altura total promedio (m)
La Estrella			
Aguacate	16	22	8
Carao	38	195	14
Chaperno blanco	13	20	8
Cortez amarillo	13	47	6
Coyote	15	18	8
Frijolillo	25	13	11
P. saman	56	292	12
Guaba	22	63	8
Guachipilín	47	196	14
Guanacaste	44	111	16
Guácimo	42	105	11
Jobo	91	166	14
Laurel negro	24	38	12
Madero negro	38	68	12
Papayo	17	15	7
Pochote	122	355	16
Roble	23	32	9
Vainillo	24	90	8
Los Diamantes			
Camajoche	20	20	9
Carao	43	167	14
Coyote	32	70	13
P. saman	57	258	10
guanacaste	96	545	16
guácimo	35	83	9
Cojón de burro	26	43	10
Indio desnudo	31	41	9
Jagua	27	50	12
Jobo	46	97	12
Laurel	19	25	13
madero negro	27	23	15
mata palo	61	270	25
Muñeco	28	67	7
Piojillo	47	107	12
Pochote	38	48	14
Poró	44	62	8
Roble	31	72	11
Soncuya	27	67	7

Anexo 3. Prueba t para árboles de *Guazuma ulmifolia* y *Pithecellobium saman* en Los Diamantes y La Estrella

Especie	Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	T	p
Gen	Áreacopa	{Diamantes}	{Estrella}	4	3	354.25	552.67	-1.15	0.3026
Gen	Alturtotal	{Diamantes}	{Estrella}	4	3	10.53	14.07	-2.56	0.0504
Gen	Alturafuste	{Diamantes}	{Estrella}	4	3	3.43	4.83	-1.21	0.2815
Gen	Profundidad copa	{Diamantes}	{Estrella}	4	3	7.13	9.27	-1.76	0.1385
Gua	Áreacopa	{Diamantes}	{Estrella}	3	3	128.67	143.33	-1	0.3757
Gua	Alturtotal	{Diamantes}	{Estrella}	3	3	11.3	11.53	-0.17	0.8756
Gua	Alturafuste	{Diamantes}	{Estrella}	3	3	3.73	2.49	1.94	0.1237
Gua	Profundidad copa	{Diamantes}	{Estrella}	3	3	8	9.04	-0.84	0.4485

Anexo 4. Comparación de la producción de hojarasca de árboles por mes por especie

<i>Pithecellobium saman</i>	p	Coficiente de variación
hoja	<0.0001	84.9
raquis	<0.0001	135
rama	0.0059	88.52
flores	<0.0001	46.28
fruto	0.4547	391
Epífitas	0.2501	179

<i>Guazuma ulmifolia</i>	p	Coficiente de variación
hoja	<0.0001	50.1
Rama	0.062	90.02
Flores	<0.0001	139.34
fruto	0.0003	175.16
epífitas	0.4027	107.03

Anexo 5. Producción de hojarasca de Phitecellobium por componente por mes por finca

Mes	hojas	ramas	flores g/m2	frutos	epifitas	total
La Estrella						
Diciembre	4.9	4.1	0.0	0.0	0.5	9.5
Enero	11.2	4.2	0.0	0.1	0.0	15.5
Febrero	42.6	1.2	0.0	2.8	0.0	46.6
Marzo	65.3	2.1	0.0	8.7	0.7	76.7
Abril	18.2	0.4	4.9	1.7	2.2	27.5
Mayo	2.1	5.2	38.0	0.3	0.6	46.2
Junio	0.8	9.9	28.5	0.6	0.3	40.2
Julio	1.2	2.4	1.5	0.2	2.9	8.3
Agosto	3.8	3.2	0.1	0.2	1.8	9.0
Total	150.1	32.7	73.0	14.7	9.0	279.5
Los Diamantes						
Diciembre	7.4	4.4	0.0	0.0	0.6	12.4
Enero	11.4	3.4	0.0	0.2	0.2	15.2
Febrero	25.7	1.4	0.0	0.2	0.0	27.2
Marzo	46.6	1.4	0.0	0.0	0.3	48.2
Abril	2.8	0.5	5.0	0.0	1.2	9.5
Mayo	0.8	5.3	48.8	0.2	0.9	56.1
Junio	0.6	1.5	9.6	0.1	0.6	12.4
Julio	0.7	4.6	0.8	0.1	0.8	7.0
Agosto	3.5	0.9	0.0	0.2	1.4	5.9
Total	99.6	23.1	64.3	1.0	6.0	193.9

Anexo 6. Producción de hojarasca de *Guazuma ulmifolia* por componente por mes por finca

Mes	Hojas	Ramas	Frutos	Flores	Epifitas	Total
			g/m ²			
La Estrella						
Diciembre	10.7	1.7	0.4	0.0	3.6	16.4
Enero	11.4	3.4	0.5	0.0	3.5	18.7
Febrero	11.6	2.6	9.5	0.0	2.2	25.8
Marzo	18.0	4.3	55.3	0.0	0.6	78.2
Abril	15.7	0.1	13.9	0.0	1.0	30.7
Mayo	0.4	0.4	4.3	11.1	3.8	20.0
Junio	1.2	6.8	3.1	19.0	6.1	36.1
Julio	1.7	8.3	0.5	0.7	4.7	15.9
Agosto	3.9	4.9	0.1	0.0	7.7	16.6
Subtotal	74.6	32.6	87.3	30.9	33.1	258.4
Los Diamantes						
Diciembre	6.0	2.4	0.1	0.0	8.2	16.7
Enero	8.8	5.2	0.3	0.0	3.0	17.3
Febrero	7.2	3.2	0.4	0.0	3.6	14.4
Marzo	13.6	1.2	7.0	0.0	4.2	26.0
Abril	15.9	0.4	18.5	0.0	8.8	43.6
Mayo	0.6	3.8	2.9	12.6	13.0	32.9
Junio	0.7	2.7	0.3	7.5	8.6	19.7
Julio	2.7	4.9	0.2	0.6	8.6	16.9
Agosto	5.5	1.9	0.0	0.0	11.1	18.6
Subtotal	60.9	25.5	29.7	20.7	69.2	206.0
total	135.5	58.1	117.0	51.5	102.3	464.4
Porcentaje	29.2	12.5	25.2	11.1	22.0	100

Anexo 7. Análisis de varianza para hojarasca de árboles (tabla de valores p)

Pasto: *B. brizantha* (finca La Estrella) y *P. conjugatum* (Finca los Diamantes).

Especie: Guácimo y Genízaro

Puntos cardinales: oeste, este, sur y norte.

Posición: bajo de copa y fuera de copa

hoja										
Mes	pasto	especie	posición	puntos cardinales	p card*pos..	sp *cardin..	esp*posic	coeficiente de var	pasto por especie	
Diciembre	0.7389	0.3403	<0.0001	<0.0001	0.0393	0.4947	0.8023	28.16	0.1048	
Enero	0.3292	0.4221	<0.0001	<0.0001	0.2461	0.2834	0.3123	27.72	0.4868	
Febrero	0.0483	0.0022	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0998	0.0096	25.56	0.4321	
Marzo	0.1785	0.0239	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.1148	0.0023	27.18	0.3972	
Abril	0.5865	0.0166	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.6291	27.7	0.4221	
Mayo	0.2459	0.0313	<0.0001	<0.0001	0.7494	0.0125	0.0708	24.75	0.1359	
Junio	0.1851	0.3493	<0.0001	<0.0001	0.6647	0.1516	0.4823	17.92	0.653	
Julio	0.5336	0.2322	<0.0001	<0.0001	0.2393	0.796	0.5417	23.75	0.3908	
Agosto	0.5602	0.2501	<0.0001	<0.0001	0.0873	0.0021	0.6942	23.59	0.4595	

raquis										
Mes	pasto	especie	posición	puntos cardinales	p card*pos..	sp *cardin..	esp*posic	coeficiente de var	pasto por especie	
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Febrero	0.3074	0.0003	<0.0001	0.4871	0.7294	0.4871	<0.0001	43.24	0.3074	
Marzo	0.8906	<0.0001	<0.0001	0.0978	0.8517	0.0978	<0.0001	31.19	0.8906	
Abril	0.2651	0.1718	0.0003	0.6178	0.9897	0.6178	0.0003	76.07	0.2651	
Mayo	0.1003	0.1003	0.7559	0.5699	0.2968	0.5699	0.7559	7.03	0.1003	
Junio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Julio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

rama										
Mes	pasto	especie	posición	puntos cardinales	p card*pos..	sp *cardin..	esp*posic	coeficiente de var	pasto por especie	
Diciembre	0.7799	0.2836	<0.0001	0.0513	0.0222	0.5518	0.0197	55.5	0.7724	
Enero	0.9211	0.8593	<0.0001	0.2803	0.6479	0.7512	0.974	48.084	0.6464	
Febrero	0.687	0.105	<0.0001	0.8015	0.7574	0.1335	0.0489	79.3	0.8187	
Marzo	0.6248	0.6565	0.0047	0.5316	0.4307	0.8517	0.7082	112	0.8187	
Abril	0.1434	0.36	<0.0001	0.5866	0.5866	0.5785	0.4519	37.82	0.7395	
Mayo	0.1002	0.0435	<0.0001	0.2403	0.7146	0.7106	0.1617	89.4	0.256	
Junio	0.0211	0.8494	<0.0001	0.0235	0.2925	0.8874	0.3899	70.51	0.3861	
Julio	0.8633	0.6312	<0.0001	0.3489	0.1196	0.6943	0.313	58.95	0.0969	
Agosto	0.1198	0.5137	<0.0001	0.1383	0.2089	0.8809	0.3727	55.32	0.3425	

flores										
Mes	pasto	especie	posición	puntos cardinales	p card*pos..	sp *cardin..	esp*posic	coeficiente de var	pasto por especie	
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abril	0.7277	0.0196	<0.0001	0.0067	0.0397	0.0067	<0.0001	40.84	0.7277	
Mayo	0.2977	0.0006	<0.0001	<0.0001	0.0038	0.0232	<0.0001	31.63	0.9308	
Junio	0.0039	0.2876	<0.0001	0.0001	0.2932	0.6688	0.0362	29.26	0.5621	
Julio	0.5139	0.4072	<0.0001	0.0013	0.6688	0.834	0.0085	28.31	0.9391	
Agosto	0.9538	0.3859	0.0473	0.3001	0.2921	0.4594	0.239	21.59	0.5712	

frutos									
Mes	pasto	especie	posición	puntos card	p card*pos..	sp *cardin..	esp*posic	coeficiente de var	pasto por especie
Diciembre	0.1656	0.0333	0.0045	0.6765	0.8003	0.6765	0.0045	19.87	0.1656
Enero	0.7468	0.2009	0.0022	0.6607	0.6389	0.153	0.2331	38.07	0.5934
Febrero	0.0151	0.0907	<0.0001	0.5642	0.5642	0.9471	0.0096	84.15	0.1706
Marzo	0.005	0.0065	<0.0001	0.4543	0.6393	0.8818	<0.0001	88.4	0.097
Abril	0.8659	0.0026	<0.0001	0.44	0.44	0.6588	<0.0001	73.01	0.2799
Mayo	0.9176	0.0826	<0.0001	0.9026	0.9176	0.6394	0.0009	77.75	0.9644
Junio	0.0124	0.0166	<0.0001	0.7905	0.5877	0.4284	0.0006	50.25	0.0755
Julio	0.3474	0.9393	0.001	0.3831	0.1456	0.689	0.7261	17.75	0.231
Agosto	0.3895	0.7287	0.0652	0.4282	0.4407	0.2996	0.6874	105.89	0.5696

epifitas									
Mes	pasto	especie	posición	ps cardinales	p card*pos..	sp *cardin..	esp*posic	coeficiente de var	pasto por especie
Diciembre	0.4606	0.0603	<0.0001	0.8733	0.8456	0.9312	<0.0001	60.16	0.5063
Enero	0.8346	0.0878	<0.0001	0.7769	0.8956	0.9768	<0.0001	62.42	0.9799
Febrero	0.6015	0.0644	<0.0001	0.7143	0.9026	0.7901	<0.0001	55.41	0.5787
Marzo	0.0596	0.0313	<0.0001	0.3897	0.7361	0.7403	0.0004	53.29	0.0388
Abril	0.0284	0.0452	<0.0001	0.7569	0.906	0.0932	0.0288	76.1	0.0416
Mayo	0.0687	0.018	<0.0001	0.4868	0.9424	0.2174	<0.0001	61.43	0.1281
Junio	0.3593	0.0257	<0.0001	0.0751	0.6436	0.3289	<0.0001	50.6	0.5161
Julio	0.4739	0.1232	<0.0001	0.3128	0.7396	0.9396	0.0137	55.67	0.377
Agosto	0.8777	0.0183	<0.0001	0.5432	0.9748	0.5681	<0.0001	51.96	0.7559

Anexo 8. Comparaciones de medias por componente para pasto, posición y especie.

HOJA									
Mes	Pasto	medias	Grupo duncan	Especie	Medias	grupo duncan	Posición	medias	grupo duncan
Diciembre	brachiari	7.80	A	guácimo	8.34	A	BC	11.61	A
	paspalun	6.72	A	genízaro	6.18	A	FC	2.90	B
Enero	brachiari	11.26	A	guácimo	10.10	A	BC	16.43	A
	paspalun	10.14	A	genízaro	11.30	A	FC	4.97	B
Febrero	brachiari	21.00	A	guácimo	9.41	B	BC	22.30	A
	paspalun	12.59	B	genízaro	24.18	A	FC	11.29	B
Marzo	brachiari	33.54	A	guácimo	15.79	B	BC	36.49	A
	paspalun	21.15	A	genízaro	38.90	A	FC	18.20	B
Abril	brachiari	11.36	A	guácimo	15.77	A	BC	11.98	A
	paspalun	9.15	A	genízaro	4.74	B	FC	8.53	B
Mayo	brachiari	1.22	A	guácimo	0.47	B	BC	1.28	A
	paspalun	0.70	A	genízaro	1.45	A	FC	0.69	B
Junio	brachiari	1.02	A	guácimo	0.97	A	BC	1.30	A
	paspalun	0.68	A	genízaro	0.74	A	FC	0.40	B
Julio	brachiari	0.56	A	guácimo	0.72	A	BC	1.03	A
	paspalun	0.68	A	genízaro	0.51	A	FC	0.20	B
Agosto	brachiari	3.65	A	guácimo	4.71	A	BC	6.78	A
	paspalun	4.51	A	genízaro	3.45	A	FC	1.38	B

RAMAS									
Mes	Pasto			Especie de árbol			posición		
		medias	grupo duncan		medias	grupo duncan		medias	grupo duncan
Diciembre	brachiaria	2.91602	A	guácimo	2.06788	A	BC	6.2176	A
	paspalum	3.38516	A	genízaro	4.233	A	FC	0.08358	B
Enero	brachiaria	3.80444	A	guácimo	4.27852	A	BC	7.79495	A
	paspalum	4.26327	A	genízaro	3.78919	A	FC	0.27276	B
Febrero	brachiaria	1.89412	A	guácimo	2.87642	A	BC	4.03207	A
	paspalum	2.26825	A	genízaro	1.28596	A	FC	0.1303	B
Marzo	brachiaria	3.19086	A	guácimo	2.7623	A	BC	4.42015	A
	paspalum	1.27773	A	genízaro	1.70629	A	FC	0.04843	B
Abril	brachiaria	0.27955	A	guácimo	0.28281	A	BC	0.72399	A
	paspalum	0.44444	A	genízaro	0.44118	A	FC	0	B
Mayo	brachiaria	2.77921	A	guácimo	2.07408	B	BC	6.80632	A
	paspalum	4.52776	A	genízaro	5.23289	A	FC	0.50065	B
Junio	brachiaria	8.22221	A	guácimo	4.5972	A	BC	9.42191	A
	paspalum	2.06967	B	genízaro	5.69467	A	FC	0.86996	B
Julio	brachiaria	2.66881	A	guácimo	2.82028	A	BC	5.48814	A
	paspalum	2.90434	A	genízaro	2.75287	A	FC	0.085	B
Agosto	brachiaria	3.2949	A	guácimo	2.64239	A	BC	4.3902	A
	paspalum	1.15646	A	genízaro	1.80896	A	FC	0.06116	B

Flores									
Mes	Pastp	medias	grupo duncan	Especie de árbol	medias	grupo duncan	posición	medias	grupo duncan
Diciembre	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	A
Enero	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	A
Febrero	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	A
Marzo	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	A
Abril	brachiaria	2.4713	A	guácimo	0	B	BC	3.6294	A
	paspalum	2.5004	A	genízaro	4.9717	A	FC	1.3423	B
Mayo	brachiaria	24.569	A	guácimo	11.9	B	BC	47.152	A
	paspalum	31.1453	A	genízaro	43.8143	A	FC	8.5623	B
Junio	brachiaria	23.757	A	guácimo	13.2226	A	BC	28.6289	A
	paspalum	8.5223	B	genízaro	19.0567	A	FC	3.6505	B
Julio	brachiaria	0.9751	A	guácimo	0.6003	A	BC	1.464	A
	paspalum	0.6411	A	genízaro	1.0159	A	FC	0.1523	B
Agosto	brachiaria	0.0545	A	guácimo	0.0248	A	BC	0.1514	A
	paspalum	0.0982	A	genízaro	0.1279	A	FC	0.0013	B

FRUTOS									
Mes	Pasto	medias	grupo duncan	Especie arbórea	medias	grupo duncan	Posición	medias	grupo duncan
Diciembre	brachiaria	0.1758	A	guácimo	0.2146	A	BC	0.202	A
	paspalum	0.0389	A	genízaro	0	B	FC	0.0127	B
Enero	brachiaria	0.2865	A	guácimo	0.3694	A	BC	0.5161	A
	paspalum	0.2378	A	genízaro	0.1549	A	FC	0.0081	B
Febrero	brachiaria	6.1454	A	guácimo	4.9264	A	BC	6.4225	A
	paspalum	0.277	B	genízaro	1.496	A	FC	0	B
Marzo	brachiaria	31.9947	A	guácimo	31.141	A	BC	35.0192	A
	paspalum	3.5082	B	genízaro	4.3618	B	FC	0.4837	B
Abril	brachiaria	7.7855	A	guácimo	16.1762	A	BC	17.0275	A
	paspalum	9.242	A	genízaro	0.8513	B	FC	0	B
Mayo	brachiaria	2.3259	A	guácimo	3.6082	A	BC	3.8826	A
	paspalum	1.5744	A	genízaro	0.2922	A	FC	0.0177	B
Junio	brachiaria	1.8697	A	guácimo	1.7236	A	BC	2.0245	A
	paspalum	0.1879	B	genízaro	0.334	B	FC	0.0331	B
Julio	brachiaria	0.1309	A	guácimo	0.1015	A	BC	0.1872	A
	paspalum	0.0665	A	genízaro	0.0959	A	FC	0.0102	B
Agosto	brachiaria	0.1663	A	guácimo	1.9929	A	BC	2.3595	A
	paspalum	2.1962	A	genízaro	0.3696	A	FC	0.003	A

RAQUIS									
Mes	Pasto	medias	grupo duncan	Especie arbórea	medias	grupo duncan		medias	grupo duncan
Diciembre	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	A
Enero	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	A
Febrero	brachiaria	6.09208	A	guácimo	0	B	BC	9.596	A
	paspalum	3.84027	A	genízaro	9.9324	A	FC	0.3364	B
Marzo	brachiaria	8.09967	A	guácimo	0	B	BC	16.8662	A
	paspalum	8.92957	A	genízaro	17.0292	A	FC	0.163	B
Abril	brachiaria	5.5942	A	guácimo	0	A	BC	5.2767	A
	paspalum	0.18115	A	genízaro	5.7754	A	FC	0.4987	B
Mayo	brachiaria	0.02451	A	guácimo	0	A	BC	0.0089	A
	paspalum	0	A	genízaro	0.0245	A	FC	0.0156	A
Junio	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	A
Julio	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	A
Agosto	brachiaria	0	A	guácimo	0	A	BC	0	A
	paspalum	0	A	genízaro	0	A	FC	0	B

EPIFITTA									
Mes	Pasto			Especie			Posición		
		medias	grupo duncan		medias	grupo duncan		medias	grupo duncan
Diciembre	brachiaria	2.05814	A	guácimo	5.94671	A	BC	6.21556	A
	paspalum	4.40675	A	genízaro	0.51819	A	FC	0.24933	B
Enero	brachiaria	1.7397	A	guácimo	3.23706	A	BC	3.30231	A
	paspalum	1.60393	A	genízaro	0.10656	A	FC	0.04131	B
Febrero	brachiaria	1.10354	A	guácimo	2.89377	A	BC	2.86907	A
	paspalum	1.7994	A	genízaro	0.00917	A	FC	0.03387	B
Marzo	brachiaria	0.63729	A	guácimo	2.39624	A	BC	2.81358	A
	paspalum	2.23987	A	genízaro	0.48092	B	FC	0.06358	B
Abril	brachiaria	1.59471	B	guácimo	4.89507	A	BC	6.36674	A
	paspalum	5.03491	A	genízaro	1.73455	B	FC	0.26288	B
Mayo	brachiaria	2.18668	A	guácimo	8.39772	A	BC	8.69976	A
	paspalum	6.96922	A	genízaro	0.75817	B	FC	0.45614	A
Junio	brachiaria	3.10206	A	guácimo	7.23917	A	BC	7.32519	A
	paspalum	4.58246	A	genízaro	0.44535	B	FC	0.35933	B
Julio	brachiaria	1.83277	A	guácimo	2.94693	A	BC	3.97312	A
	paspalum	2.31607	A	genízaro	1.20191	A	FC	0.17572	B
Agosto	brachiaria	5.65065	A	guácimo	11.26	A	BC	11.17	A
	paspalum	6.01729	A	genízaro	1.3412	B	FC	0.5348	B

Anexo 9. Comparaciones de medias por componente para puntos cardinales

Mes	Puntos cardinales	Hojas		Ramas			Flores		
		medias	grupo duncan		medias	grupo duncan		medias	grupo duncan
Diciembre	oeste	11.1192	A	oeste	2.185	B	oeste	0	A
	sur	8.2717	B	sur	2.6431	B	sur	0	A
	este	4.536	C	este	2.1919	B	este	0	A
	norte	5.0479	C	norte	5.5824	A	norte	0	A
Enero	oeste	19.9109	A	oeste	4.7332	A	oeste	0	A
	sur	10.9893	B	sur	4.8459	A	sur	0	A
	este	4.6818	D	este	3.4204	A	este	0	A
	norte	7.2238	C	norte	3.1358	A	norte	0	A
Febrero	oeste	32.1935	A	oeste	3.0724	A	oeste	0	A
	sur	17.3436	B	sur	1.9152	A	sur	0	A
	este	7.0188	C	este	1.7944	A	este	0	A
	norte	10.6299	C	norte	1.5428	A	norte	0	A
Marzo	oeste	60.1292	A	oeste	1.4904	A	oeste	0	A
	sur	24.3838	B	sur	0.4769	A	sur	0	A
	este	10.2937	D	este	5.3016	A	este	0	A
	norte	14.5783	C	norte	1.6683	A	norte	0	A
Abril	oeste	20.747	A	oeste	0.4681	A	oeste	4.2024	A
	sur	10.9597	B	sur	0.2425	A	sur	2.0818	B
	este	3.6907	C	este	0.2851	A	este	1.3796	B
	norte	5.6313	C	norte	0.4472	A	norte	2.2796	B
Mayo	oeste	2.0404	A	oeste	4.111	A	oeste	39.6932	A
	sur	0.8936	B	sur	2.4313	A	sur	29.3583	B
	este	0.3594	C	este	1.5852	A	este	16.2651	C
	norte	0.5479	BC	norte	6.4864	A	norte	26.112	B
Junio	oeste	1.4201	A	oeste	10.4464	A	oeste	22.323	A
	sur	0.8445	B	sur	1.9741	B	sur	14.2054	B
	este	0.4807	C	este	3.584	B	este	13.4179	B
	norte	0.6634	BC	norte	4.5792	B	norte	14.6124	B
Julio	oeste	1.0907	A	oeste	1.4866	A	oeste	1.41	A
	sur	0.6132	B	sur	4.4278	A	sur	0.6473	B
	este	0.2536	B	este	2.7654	A	este	0.5151	B
	norte	0.5097	B	norte	2.4666	A	norte	0.6601	B
Agosto	oeste	7.2488	A	oeste	2.9191	A	oeste	0.0397	A
	sur	4.0664	B	sur	1.4372	A	sur	0.0118	A
	este	2.18	C	este	1.1674	A	este	0.0263	A
	norte	2.8198	C	norte	3.379	A	norte	0.2276	A

Mes	Frutos			epifiitas			Raquis		
		medias	grupo duncan		medias	grupo duncan		medias	grupo duncan
Diciembre	oeste	0.1031	A	oeste	2.70738	A	oeste	0	A
	sur	0.0406	A	sur	3.81229	A	sur	0	A
	este	0.1359	A	este	3.47529	A	este	0	A
	norte	0.1497	A	norte	2.93483	A	norte	0	A
Enero	oeste	0.2269	A	oeste	1.97272	A	oeste	0	A
	sur	0.0748	A	sur	1.95414	A	sur	0	A
	este	0.3108	A	este	1.44521	A	este	0	A
	norte	0.436	A	norte	1.31518	A	norte	0	A
Febrero	oeste	4.9223	A	oeste	2.01253	A	oeste	4.8408	A
	sur	3.6713	A	sur	1.58043	A	sur	5.799	A
	este	1.2828	A	este	1.0304	A	este	5.2983	A
	norte	2.9685	A	norte	1.18252	A	norte	3.9266	A
Marzo	oeste	22.178	A	oeste	2.21672	A	oeste	10.5918	A
	sur	13.0736	A	sur	1.02817	A	sur	8.2398	AB
	este	10.6922	A	este	1.04939	A	este	7.1418	B
	norte	25.0619	A	norte	1.46004	A	norte	8.0851	AB
Abril	oeste	13.5933	A	oeste	5.10025	A	oeste	4.2011	A
	sur	6.3473	A	sur	2.06829	A	sur	2.7877	A
	este	4.9881	A	este	2.29951	A	este	2.1642	A
	norte	9.1262	A	norte	3.79119	A	norte	2.3977	A
Mayo	oeste	1.426	A	oeste	6.46388	A	oeste	0	A
	sur	2.3956	A	sur	4.20204	A	sur	0.0312	A
	este	2.9957	A	este	3.40925	A	este	0	A
	norte	0.9833	A	norte	4.23662	A	norte	0.0179	A
Junio	oeste	0.8956	A	oeste	5.76321	A	oeste	0	A
	sur	0.746	A	sur	3.65084	AB	sur	0	A
	este	1.2386	A	este	2.53719	B	este	0	A
	norte	1.2348	A	norte	3.41781	AB	norte	0	A
Julio	oeste	0.1693	A	oeste	3.17488	A	oeste	0	A
	sur	0.0393	A	sur	2.20789	A	sur	0	A
	este	0.0801	A	este	1.20667	A	este	0	A
	norte	0.1061	A	norte	1.70824	A	norte	0	A
Agosto	oeste	4.0222	A	oeste	6.89828	A	oeste	0	A
	sur	0.214	A	sur	7.06771	A	sur	0	A
	este	0.0869	A	este	4.72489	A	este	0	A
	norte	0.4019	A	norte	4.71165	A	norte	0	A

Anexo 10. Interacción puntos cardinales*posición

Componente	Mes	p	Oeste		Este		Sur		Norte	
			BC	FC	BC	FC	BC	FC	BC	FC
Hojas	Diciembre	0.0393	14.59	7.64	8.57	0.01	13.79	2.74	9.5	0.59
	Febrero	<0.0001	31.91	32.48	13.64	0.4	24.36	10.32	19.3	1.94
	Marzo	0.0003	63.27	56.98	19.52	1.06	37.65	11.11	25.5	3.64
	Abril	<0.0001	18.65	22.84	6.95	0.43	12.6	9.31	9.7	1.54
Ramas	Diciembre	0.0222	4.18	0.19	4.35	0.03	5.17	0.11	11.2	0
Flores	Abril	0.0397	4.19	4.21	2.7	0.05	3.28	0.88	4.32	0.7
	Mayo	0.0038	54.95	24.42	32.07	0.46	50.37	8.34	51.2	1.01
Raquis, frutos y epífitas		No presenta interacción								

Anexo 11. Interacción especie*puntos cardinales

Componente	Mes	p	<i>Pithecellobium saman</i>				<i>Guazuma ulmifolia</i>			
			Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este
Hojas	Abril	<0.0001	8.5	6.11	2.35	1.91	32.9	15.8	8.9	5.47
	Mayo	0.0125	2.83	1.65	0.88	0.44	1.25	0.13	0.22	0.28
	Agosto	0.0021	4.84	4.33	2.57	2.06	9.66	3.8	3.07	2.29
Flor	Abril	0.0067	8.4	4.16	4.56	2.75	0	0	0	0
	Mayo	0.0232	62.12	48.1	40.8	24.22	17.27	10.61	11.4	8.3

Raquis, ramas, frutos y epífitas no presentaron interacciones

Anexo 12. Interaccion especie*posición

Componente	Mes	p	<i>Pithecellobium saman</i>		<i>Guazuma ulmifolia</i>	
			Posición		Posición	
			BC	FC	BC	FC
Hoja	febrero	0.0096	31.92	16.44	12.68	6.13
	Marzo	0.0023	52.91	24.88	20.06	11.52
Raquis	Febrero	<0.00001	19.19	0.67	0	0
	Marzo	<0.0001	33.73	0.33	0	0
	Abril	0.0003	10.55	0.99	0	0
Ramas	Diciembre	0.0197	8.37	2.32	4.06	3.47
Flor	Abril	<0.0001	7.25	2.68		
	Mayo	<0.0001	72.94	14.69	21.36	2.34
	Junio	0.0362	33.95	4.15	23.3	3.1418
	Julio	0.0085	1.89	0.14	1.03	0.17
Frutos	Diciembre	0.0045	0	0	0.4	0.02
	febrero	0.0096	2.99	0	9.85	0
	Marzo	<0.0001	8.72	0	61.31	0.96
	Abril	<0.0001	1.7	0	32.35	0
	Mayo	0.0009	0.58	0	7.18	0.04
	Junio	0.0006	0.67	0	3.38	0.066
Epífitas	Diciembre	<0.0001	1.04	0	11.39	0.5
	Enero	<0.0001	0.21	0.003	6.3948	0.0793
	febrero	<0.0001	0.02	0.002	5.72	0.07
	Marzo	0.0004	0.94	0.03	4.69	0.1
	Abril	0.0288	3.46	0.01	9.27	0.52
	Mayo	<0.0001	1.5	0.015	15.89	0.89
	Junio	<0.0001	0.86	0.03	13.79	0.69
	Julio	0.0137	2.38	0.014	5.56	0.34
agosto	<0.0001	2.66	0.02	21.37	1.15	

Anexo 13. Comparación de distribución de hojarasca de *P. saman* producidas en trampas redondas con las de bambú

Árbol	Hoja	Raquis	Ramas	Flor	Frutos	Epífitas
Gen 1	Porcentaje					
Este	11	19	14	16	4	22
Norte	18	18	13	25	92	35
Oeste	45	26	6	33	3	15
Sur	26	37	67	27	0	28
Gen 2						
Este	15	26	26	19	7	50
Norte	13	24	19	24	54	19
Oeste	45	42	35	32	29	18
Sur	27	8	19	25	11	14
Gen 3						
Este	10	18	19	16	53	15
Norte	11	29	22	14	1	15
Oeste	49	31	25	40	7	18
Sur	30	22	34	30	39	52
Gen 4						
Este	10	25	22	13	9	19
Norte	19	21	25	21	42	25
Oeste	50	28	47	49	18	42
Sur	21	25	6	16	32	14
Gen 5						
Este	10	23	26	18	18	31
Norte	15	23	56	24	52	28
Oeste	51	31	12	38	26	35
Sur	24	23	6	19	3	5
Gen 6						
Este	10	23	16	12	5	14
Norte	16	17	46	28	23	36
Oeste	42	28	24	27	55	36
Sur	32	32	14	33	18	15
Trampa larga						
Este	13	17.9	22	9		15
Norte	15	37.4	31	7		24
Oeste	45	22.4	27	73		43
Sur	27	22.2	21	11		18

Anexo 14. Comparación de distribución de hojarasca de *Guazuma ulmifolia* producidas en trampas redondas con las de bambú

Árbol	Hoja	Ramas	Flor	Frutos	Epífitas
Gu 1	Porcentaje				
este	14	14	19	23	22
norte	19	25	27	10	27
oeste	43	49	31	56	29
sur	24	12	22	11	22
Gu 2					
este	5	25	17	25	21
norte	16	18	25	18	18
oeste	59	15	33	36	38
sur	20	43	25	20	24
Gu 3					
este	7	11	12	6	8
norte	12	42	31	28	34
oeste	62	44	44	64	50
sur	19	4	13	2	7
Gu 4					
este	7	9	17	19	11
norte	16	21	18	23	12
oeste	56	45	40	39	26
sur	21	25	24	18	51
Gu 5					
este	19	47	32	14	19
norte	15	21	21	41	12
oeste	40	13	24	16	31
sur	25	18	23	29	37
Gu 6					
este	4	12	22	25	26
norte	7	22	22	35	6
oeste	67	33	32	18	50
sur	22	34	24	23	19
Trampa larga					
Este	8	30.0	30	29.0	14.0
Norte	8	18.0	21	33.0	21.0
Oeste	72	20.0	25	11.0	36.0
Sur	12	32.0	24	27.0	29.0

Anexo 15. comparación de nutrientes de *Guazuma ulmifolia* y de *Pithecellobium saman* por mes

Componente	<i>Pithecellobium saman</i>			<i>Guazuma ulmifolia</i>	
	Nutriente	p	Coefficiente de variación	p	Coefficiente de variación
Epífitas	Ca	0.3018	35.75	0.0046	12.63
	Mg	0.0265	4	0.0003	9.42
	K	0.4687	35.31	0.3348	18.37
	P	sd		0.2561	19.23
	N	0.2777	10.2	0.0014	5.62
	CT	0.1556	1.15	0.1718	1.59
Flores	Ca	0.0305	13.47	0.0427	7
	Mg	0.3536	9.62	0.1607	4.77
	K	0.0075	9.57	0.9835	36.9
	P	0.055	14.41	0.9999	7.69
	N	0.482	6.73	0.7452	8.93
	CT	0.0138	0.72	0.1169	0.53
frutos	Ca	0.9999	7.07	0.7728	20.26
	Mg	0.6667	19.28	0.3486	10.8
	K	0.5626	10.03	0.0245	5.96
	P	sd	0	0.8195	21.82
	N	0.8456	4.82	0.7813	11.46
	CT	0.1789	15	0.1605	1.45
hojas	Ca	0.0669	15.45	0.0684	20.54
	Mg	0.2178	15.77	0.3059	26.61
	K	0.0694	34.27	0.8422	30.39
	P	0.0895	42.01	0.8801	28.36
	N	0.3394	18.4	0.0392	17.23
	CT	0.9683	2.86	0.0813	3.07
ramas	Ca	0.3333	0.45	0.2696	4.49
	Mg	0.2123	5.3	0.3288	10.88
	K	0.9717	45.21	0.7171	12.79
	P	0.6667	32.64	0.5669	17.68
	N	0.0877	1.82	0.8707	31.33
	CT	0.032	0.11	0.1329	0.25
Raquis	Ca	0.1595	10.34		
	Mg	0.0767	6.17		
	K	0.6114	28.45		
	P	0.1786	18.63		
	N	0.4191	9.73		
	CT	0.2846	1.75		

Anexo 16. Análisis de varianza de pastos por mes

Factor	Nivel
Epoca	2 Lluviosa Seca
Pasto	2 Brachiaria briza Paspalum conjugatum
Posicion	3 Bajo copa Geníza Bajo copa Guácimo Fuera de copa

mes	Pasto	Posición	Pasto*posición	coeficiente de var
Diciembre	0.0004	0.2233	-9	15.56
Enero	0.0003	0.0003	0.2556	13.08
Febrero	0.0016	0.0085	0.7438	18.51
Marzo	0.0021	0.002	1	14.26
Abril	<0.0001	0.0002	0.0083	12.47
Mayo	0.003	0.0023	0.7262	18.04
Junio	nd	0.0027	nd	14.25
Julio	<0.0001	0.0001	0.6646	17.62
Agosto	<0.0001	0.0004	0.0292	15.73

Mes	Pasto	media	duncan
Diciembre	brachiaria	292.92	A
	paspalum	68.83	B
Enero	brachiaria	257.78	A
	paspalum	134.5	B
Febrero	brachiaria	437.11	A
	paspalum	208.89	B
Marzo	brachiaria	423.32	A
	paspalum	251	B
Abril	brachiaria	450.95	A
	paspalum	175.33	B
Mayo	brachiaria	363.27	A
	paspalum	198.56	B
Junio	brachiaria	nd	
	paspalum	nd	
Julio	brachiaria	319.67	A
	paspalum	109.56	B
Agosto	brachiaria	326.61	A
	paspalum	49.63	B

Brachiaria Brizantha

Mes	Posición	media	duncan
Diciembre	FC	188.79	A
	BC Gen	53	B
	BC Gua	-9	
Enero	FC	281.33	A
	BC Gen	185	B
	BC Gua	119.6	C
Febrero	FC	450.33	A
	BC Gen	321	AB
	BC Gua	197.67	B
Marzo	FC	474.69	A
	BC Gen	313.91	B
	BC Gua	222.88	B
Abril	FC	477.02	A
	BC Gen	274.3	B
	BC Gua	188.11	C
Mayo-junio	FC	397.47	A
	BC Gen	286.89	A
	BC Gua	158.38	B
Julio	FC	367.28	A
	BC Gen	178.74	B
	BC Gua	127.83	B
Agosto	FC	361.18	A
	BC Gen	135.94	B
	BC Gua	119.16	B

Paspalum conjugatum

Mes	Producción por día (g/m ²)		Producción por periodo	
	p	Coefficiente de variación	p	Coefficiente de variación
Diciembre	0.0176	10.92	0.004	9.68
Enero	0.0006	5.85	0.0005	6.45
Febrero	0.0023	7.97	0.001	6.99
Marzo	0.07	9.25	0.0487	7.44
Abril	0.1296	18.14	0.1504	19.13
Mayo	0.0312	13.52	0.0382	14.14
Junio	0.0053	18.19	0.0092	19.19
Julio	0.0224	22.1	0.0235	21.9
Agosto	0.0329	8.33	0.1086	9.82

Paspalum conjugatum

Mes	Posición	Producción por día		Producción por periodo (g/m ²)	
		Medias	Duncan	medias	Duncan
Diciembre	fc	7.23	A	268.7	A
	bc gen	3.63	B	104.97	B
Enero	fc	7.8667	A	217.5	A
	bc gen	4.8333	B	135.13	B
	bc gua	2.7	C	61.35	C
Febrero	fc	11.33	A	420	A
	bc gen	7.36	B	267.87	B
	bc gua	5.03	C	182.47	C
Marzo	fc	11.8	A	457.2	A
	bc gen	11.06	AB	404.13	AB
	bc gua	7.7	B	308.17	B
Abril	fc	3.4	A	69.37	A
	bc gen	3.7667	A	77.77	A
	bc gua	1.83	A	37.63	A
Mayo	fc	5.73	A	159.33	A
	bc gen	5.13	A	142.83	A
	bc gua	2.6	B	72.57	B
Junio	fc	5.4	A	164.4	A
	bc gen	9.133	A	255.83	A
	bc gua	1.63	B	51.03	B
Julio	fc	7	A	181.53	A
	bc gen	3	B	83.77	AB
	bc gua	1.9	B	48.93	B
Agosto	fc	5	A	114.45	A
	bc gen	4.3	A	100.6	A
	bc gua	2.9	B	152.37	A

Anexo 17. Análisis de varianza de pastos por estación

época	pasto	posición	epoca*pasto	epoca*posición	pasto*posición	coeficiente de var
0.0007	<0.0001	<0.0001	0.741	0.14	0.5604	22.36

Variable		medias	duncan
Época	seca	277.5	A
	lluviosa	223.55	B
pasto	brachiaria	364.94	A
	paspalum	159.51	B
Posición	FC	372.25	A
	BC Gen	219.77	B
	BC Gua	156.87	C

Época	Pasto	medias	desviación estandar
lluviosa	Brachiaria	330	175.14
lluviosa	Paspalum	133	108.34
seca	Brachiaria	378	194.69
seca	Paspalum	166	92.61

Anexo 18. Concentración de nutrientes en la hojarasca de *Brachiaria brizantha*

<i>Brachiaria brizantha</i>		Ca	Mg	K	P	N	C.T.	C/N
Posición	Mes	----- % -----						
Bajo copa <i>Pitecellobium saman</i>	Diciembre	0.51	0.17	0.51	0.15	1.08	na	na
	Enero	0.46	0.17	0.88	0.17	0.92	na	na
	Febrero	0.32	0.15	0.61	0.11	0.70	42.09	60
	Marzo	0.52	0.18	0.59	0.10	0.93	42.50	46.25
	Abril-Mayo	0.55	0.19	0.57	0.15	0.87	41.41	48
	Mayo-junio	0.36	0.15	0.24	0.09	0.57	44.27	78
	Julio	0.51	0.17	0.37	0.14	0.92	43.02	47
	Agosto	0.79	0.24	0.25	0.12	0.99	35.87	36
	Promedio	0.50	0.18	0.50	0.13	0.87	41.53	52.44
bajo copa <i>Guazuma ulmifolia</i>	Enero	0.58	0.20	0.67	0.17	0.89	na	na
	Febrero	0.58	0.24	0.34	0.11	1.07	34.45	32
	Marzo	0.45	0.20	0.48	0.11	0.82	40.54	49
	Abril-Mayo	0.47	0.18	0.48	0.14	0.65	42.16	65
	Mayo-junio	0.56	0.22	0.24	0.10	0.70	42.20	60
	Julio	0.59	0.18	0.35	0.12	0.78	41.05	53
	Agosto	0.62	0.18	0.21	0.10	0.71	39.68	56
	Promedio	0.55	0.20	0.40	0.12	0.80	40.01	53
Fuera copa	Diciembre	0.62	0.22	0.31	0.12	0.82	na	na
	Enero	0.49	0.18	0.59	0.13	0.70	na	na
	Febrero	0.47	0.19	0.38	0.12	0.75	40.11	53
	Marzo	0.58	0.23	0.46	0.14	0.87	39.46	45
	Abril-Mayo	0.30	0.15	0.38	0.13	0.51	42.88	84
	Mayo-junio	0.33	0.16	0.28	0.10	0.59	42.88	73
	Julio	0.43	0.17	0.30	0.11	0.82	41.57	51
	Agosto	0.53	0.16	0.25	0.10	0.66	41.83	63
	Promedio	0.47	0.18	0.37	0.12	0.72	41.46	62

Anexo 19. Concentración de nutrientes en la hojarasca de *Paspalum conjugatum*

<i>Paspalum conjugatum</i>		Ca	Mg	K	P	N	C.T.	C/N
Posición	Mes	----- % -----						
Bajo copa <i>Pitecellobium saman</i>	Diciembre	0.72	0.25	0.49	0.12	1.11	na	na
	Enero	0.72	0.25	0.47	0.11	1.12	na	na
	Febrero	0.75	0.28	0.32	0.08	1.11	34.55	31
	Marzo	0.72	0.29	0.39	0.08	1.15	34.48	30
	Abril	0.78	0.29	0.43	0.09	1.17	39.84	34
	Mayo	0.72	0.24	0.25	0.09	1.25	37.92	30
	Junio	0.94	0.26	0.20	0.11	1.35	34.86	26
	Julio	0.95	0.24	0.23	0.11	1.67	36.41	22
	Agosto	0.95	0.21	0.23	0.11	1.55	38.69	25
	Promedio	0.81	0.26	0.33	0.10	1.28	36.68	28.30
Bajo copa <i>Guazuma ulmifolia</i>	Enero	0.95	0.24	0.49	0.13	1.40	na	na
	Febrero	0.86	0.33	0.35	0.10	1.24	33.44	27
	Marzo	0.89	0.29	0.47	0.09	0.98	36.94	38
	Abril	0.85	0.28	0.58	0.13	0.96	40.77	42
	Mayo	0.89	0.22	0.21	0.10	1.14	37.69	33
	Junio	0.96	0.24	0.24	0.11	1.24	39.45	32
	Julio	1.10	0.27	0.20	0.12	1.32	35.23	27
	Agosto	0.95	0.22	0.18	0.10	1.18	33.54	28
	Promedio	0.93	0.26	0.34	0.11	1.18	36.72	32.45
Fuera copa	Diciembre	0.74	0.23	0.27	0.08	0.87	na	na
	Enero	0.65	0.22	0.32	0.09	0.92	na	na
	Febrero	0.68	0.29	0.31	0.11	1.05	32.45	31
	Marzo	0.52	0.32	0.42	0.09	0.67	38.69	58
	Abril	0.62	0.29	0.21	0.05	0.77	38.48	50
	Mayo	0.66	0.24	0.16	0.08	0.99	35.17	36
	Junio	0.65	0.25	0.18	0.08	1.00	36.02	36
	Julio	0.81	0.25	0.17	0.10	1.14	38.91	34
	Agosto	0.95	0.22	0.20	0.10	1.34	35.14	26
	Promedio	0.70	0.26	0.25	0.09	0.97	36.41	38.65

Anexo 20. Traslocación de nutrientes en *B. brizantha* y *P. conjugatum*

Nutriente (%)	<i>Brachiaria brizantha</i>				
	BC gen	BC gua	FC	promedio	% que trasloca
N	0.44	0.44	0.39	0.42	0.58
P	0.36	0.39	0.34	0.36	0.64
K	0.17	0.13	0.14	0.15	0.85
Mg	0.77	0.91	1.01	0.90	0.10
Ca	1.62	1.77	1.80	1.73	-0.73

Nutriente (%)	<i>Paspalum conjugatum</i>			
	BC gua	FC	promedio	% que trasloca
N	0.70	0.68	0.69	0.31
P	0.46	0.46	0.46	0.54
K	0.19	0.19	0.19	0.81
Mg	0.97	0.89	0.93	0.07
Ca	2.59	1.94	2.26	-1.26

Anexo 21. Comparaciones de la hojarasca de pastos bajo las tres distintas posiciones en cuanto a la concentración de nutrientes

Pasto	Nutriente	p	Coefficiente de variación
Brachiaria brizantha	Ca	0.3951	22.32
	Mg	0.2759	14.67
	K	0.2645	39.43
	P	0.6805	18.94
	N	0.1171	18.12
Paspalum conjugatum	Ca	0.0007	13.17
	Mg	0.9497	13
	K	0.2262	39.22
	P	0.0203	16.13
	N	0.0078	16.58

Nutriente	p	coeficiente de variación	
Ca	0.0007	13.17	
Duncan: =0.05			
Error: 0.0113 gl: 23			
Posición	Medias	n	
Bajo copa G.ulmifolia	0.93	8	A
Bajo copa P. saman	0.81	9	B
Fuera copa	0.7	9	C
P	0.0203	16.13	
Bajo copa G.ulmifolia	0.11	8	A
Bajo copa P. saman	0.1	9	AB
Fuera copa	0.09	9	B
N	0.0078	16.58	
Bajo copa P. saman	1.28	9	A
Bajo copa G.ulmifolia	1.18	8	A
Fuera copa	0.97	9	B

Anexo 22. Aportes de nutrientes por mes de especies arbóreas y de pastos

FÓSFORO												
Meses	Especie		<i>Brachiaria brizantha</i>					<i>Paspalum conjugatum</i>				
	P. saman	G. ulmifolia	FC	BC gen		BC Gua		FC	BC gen		BC Gua	
				Oeste	Este	Oeste	Este		Oeste	Este	Oeste	Este
g m ⁻² mes ⁻¹												
Enero	0.02	0.03	0.25	0.28	0.26	0.19	0.17	0.15	0.17	0.16	0.12	0.10
Febrero	0.04	0.05	0.21	0.20	0.15	0.13	0.10	0.16	0.13	0.11	0.08	0.07
Marzo	0.07	0.21	0.27	0.23	0.16	0.18	0.11	0.15	0.16	0.12	0.11	0.07
Abril	0.05	0.10	0.23	0.46	0.40	0.15	0.11	0.05	0.13	0.10	0.13	0.07
Mayo	0.18	0.13	0.18	0.36	0.22	0.12	0.08	0.14	0.25	0.14	0.13	0.08
Junio	0.07	0.12	0.13	0.34	0.33	0.09	0.07	0.13	0.31	0.30	0.07	0.06
Julio	0.01	0.05	0.26	0.24	0.24	0.12	0.11	0.22	0.10	0.10	0.09	0.07
Agosto	0.01	0.07	0.20	0.16	0.15	0.15	0.14	0.16	0.10	0.10	0.15	0.14
Total	0.46	0.77	1.71	2.26	1.92	1.13	0.89	1.16	1.34	1.14	0.89	0.67

POTASIO												
Meses	Especie		<i>Brachiaria brizantha</i>					<i>Paspalum conjugatum</i>				
	<i>P. saman</i>	<i>G. ulmifolia</i>	FC	BC gen		BC Gua		FC	BC gen		BC Gua	
				Oeste	Este	Oeste	Este		Oeste	Este	Oeste	Este
			g m-2 mes-1									
Enero	0.12	0.18	1.12	1.41	1.36	0.78	0.66	0.53	0.73	0.70	0.50	0.37
Febrero	0.29	0.32	0.65	1.08	0.86	0.55	0.30	0.46	0.51	0.43	0.34	0.24
Marzo	0.44	1.33	0.87	1.27	0.93	0.99	0.47	0.69	0.76	0.58	0.66	0.36
Abril	0.28	0.69	0.66	1.80	1.51	0.62	0.37	0.21	0.61	0.49	0.69	0.33
Mayo	0.79	0.90	0.50	1.18	0.60	0.40	0.19	0.28	0.85	0.40	0.49	0.17
Junio	0.30	0.77	0.35	0.92	0.89	0.29	0.23	0.29	0.58	0.55	0.23	0.17
Julio	0.08	0.30	0.65	0.50	0.49	0.29	0.25	0.37	0.22	0.21	0.21	0.13
Agosto	0.08	0.40	0.49	0.33	0.32	0.34	0.30	0.31	0.22	0.20	0.37	0.28
Total	2.37	4.90	5.31	8.50	6.96	4.25	2.77	3.16	4.48	3.56	3.50	2.06

MAGNESIO												
Meses	Especie		<i>Brachiaria brizantha</i>					<i>Paspalum conjugatum</i>				
	<i>P. saman</i>	<i>G. ulmifolia</i>	FC	BC gen		BC Gua		FC	BC gen		BC Gua	
				Oeste	Este	Oeste	Este		Oeste	Este	Oeste	Este
			g m-2 mes-1									
Enero	0.04	0.08	0.34	0.28	0.26	0.26	0.20	0.36	0.39	0.37	0.24	0.18
Febrero	0.09	0.09	0.33	0.30	0.21	0.34	0.21	0.43	0.41	0.37	0.28	0.23
Marzo	0.23	0.26	0.44	0.48	0.29	0.41	0.20	0.53	0.54	0.43	0.38	0.22
Abril	0.05	0.15	0.26	0.55	0.50	0.28	0.14	0.30	0.34	0.33	0.33	0.16
Mayo	0.11	0.17	0.29	0.44	0.37	0.24	0.17	0.42	0.44	0.38	0.25	0.18
Junio	0.06	0.20	0.20	0.41	0.40	0.13	0.11	0.41	0.72	0.71	0.15	0.13
Julio	0.02	0.10	0.42	0.47	0.47	0.22	0.21	0.55	0.22	0.22	0.18	0.16
Agosto	0.02	0.15	0.32	0.31	0.31	0.28	0.25	0.35	0.19	0.19	0.36	0.31
Total	0.61	1.19	2.58	3.26	2.81	2.15	1.49	3.35	3.24	3.01	2.17	1.57

CALCIO												
Meses	Especie		<i>Brachiaria brizantha</i>					<i>Paspalum conjugatum</i>				
	<i>P. saman</i>	<i>G. ulmifolia</i>	FC	BC gen		BC Gua		FC	BC gen		BC Gua	
				Oeste	Este	Oeste	Este		Oeste	Este	Oeste	Este
			g m-2 mes-1									
Enero	0.49	0.67	0.93	0.93	0.71	1.08	0.57	1.07	1.24	1.07	1.22	0.73
Febrero	1.13	0.64	0.81	1.45	0.46	1.44	0.52	1.02	1.38	1.01	0.97	0.61
Marzo	2.75	1.49	1.10	2.86	0.88	2.06	0.45	0.86	2.15	1.07	1.88	0.68
Abril	0.49	0.93	0.52	1.94	1.46	1.49	0.38	0.63	0.92	0.88	1.84	0.50
Mayo	0.67	0.87	0.59	1.15	0.88	0.61	0.45	1.17	1.34	1.15	1.02	0.72
Junio	0.64	1.26	0.50	1.30	1.23	0.49	0.37	1.06	2.62	2.58	0.70	0.62
Julio	0.27	0.62	1.38	1.59	1.55	0.82	0.71	1.78	0.89	0.88	0.82	0.67
Agosto	0.23	0.65	1.04	1.05	1.02	1.00	0.88	1.49	0.89	0.85	1.60	1.33
Total	6.66	7.13	6.88	12.28	8.21	8.99	4.32	9.08	11.44	9.48	10.05	5.86