

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**Asociación de especies arbóreas forrajeras para
mejorar la productividad y el reciclaje de
nutrimentos en sistemas agroforestales**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

POR:

Magister Scientiae Judith Coromoto Petit Aldana

Asesores:

**Doctor Francisco Javier Solorio Sánchez
Doctor Luis Ramírez y Avilés**

Mérida, Yucatán, México, Agosto de 2011

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

ALUMNA: M.Sc. JUDITH COROMOTO PETIT ALDANA

SINODO DEL EXAMEN DE TESIS DE GRADO

Dr. Roger Orellana Lanza _____

Centro de Investigación Científica de Yucatán

Dr. Juan Tun Garrido _____

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
UADY

Dr. José Salvador Flores Guido _____

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
UADY

Dr. José B. Castillo Caamal _____

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
UADY

Dr. Armín J. Ayala Burgos _____

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
UADY

Mérida, Yucatán, Agosto de 2011

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente.

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre presente en cada uno de mis días de vida y por haberme dado la salud, sabiduría y el entendimiento para alcanzar esta meta.

A mi padre Pedro Manuel, norte de mi vida, manantial de inspiración, quien me enseñó el camino a seguir en mi formación académica. Gracias papá, se cumple el sueño de nuestras giras de estudios por los bosques, este Doctorado es tuyo, tal como te lo prometí en Venezuela. Dios te bendiga siempre.

A mi madre Isola, por darme su cariño, apoyo, solidaridad y fuerza toda mi vida. Mamá gracias por estar siempre y cuidar a mi papá, que Dios siempre te bendiga.

A mi hijo Jose Antonio por su amor, lealtad y comprensión en estos tres años de ausencia en su vida y por haberme dado la satisfacción de culminar su carrera universitaria. Hijo muchas gracias, Dios te bendiga.

A mi hija María Virginia por su amor, cariño, solidaridad y compañía en estos tres años en que compartimos la experiencia de vivir en este hermoso país. Querida hija este triunfo también es tuyo, desearía que sea un hermoso motivo de inspiración para tu vida. Dios te bendiga.

A mis hermanos Isabel, Pedro, Marisol, Francisco y Carlos por su apoyo, ayuda incondicional y ser fuente de estímulos constantes en la realización de este sueño anhelado.

A mi nuera Ellimar, por su cariño, apoyo y amistad. Dios te bendiga hija.

A mi yerno Sergio por su amistad y desinteresada colaboración en apoyarme durante mi estadía en este hermoso país.

A mis adorados sobrinos: Pablo Antonio, Pedro José, Marysabel, María Elisa, Lyzwill, Lynnette, Lytzie, Cesar Manuel, Pedro Manuel y Santiago.

A Venezuela, mi bello país, especialmente a mi Mérida, que como Mariano Picón Salas escribió **“Mérida es una universidad con una ciudad por dentro”** y que con orgullo la llevaré siempre en mi alma.

AGRADECIMIENTOS

A la Ilustre Universidad de Los Andes, forjadora de espíritus, voluntades y conocimientos, mi alma mater e institución de trabajo por su apoyo incondicional al permitirme realizar y financiar mis estudios de Doctorado.

Al CONACyT de México por el apoyo económico durante el Doctorado (Registro N° 222327).

A la Universidad Autónoma de Yucatán por recibirme en el Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

A mis asesores de tesis Dr. Francisco Javier Solorio Sánchez y Dr. Luis Ramírez Avilés por apoyarme y asesorarme con el trabajo científico.

A los integrantes del Comité tutorial: Dr. Juan Tun Garrido, Dr. Roger Orellana Lanza y Dr. Salvador Flores Guido por su acertada tutoría y sugerencias.

A Elsy, Nidia y Mariceli amigas y personal administrativo de la Facultad

A los obreros del área de nutrición: Bartolo, Don Ángel, Kike, Don Víctor, Isidro y Juanito, por su ayuda incondicional en el trabajo de campo y laboratorio.

A mis paisanas María Bottini Luzardo y Eliana Noguera Savelli por compartir ese pedacito de Venezuela que siempre extrañamos.

A mis amigas Ligia Ferráez Cervera, Alma Rosa Cota Gómez, Ileana Lara, Enna Meza, Sacnitec Gaxiola y al maestro Héctor Hernández por compartir su amistad y hacerme mi estadía en este país muy placentera.

A mis amigos, Fernando Casanova, William Cetzal, Lizandro Peraza, Ricardo Balam, Hebel Mercadillo, Gabriel Uribe, Erika Betancourt y Arturo Caamal por compartir tantos momentos de amistad y ciencia.

A México y su bellísima Mérida que con su geografía y calor humano me cobijó durante tres años.

Y, como leí en algún lado : “Tal como ocurre en otras ciudades del mundo, incluso las del país natal, una persona al visitar un lugar siempre se lleva consigo algo de ese sitio; como un acto solemne de *comuni3n* (*com3n-uni3n*), donde se deja un poco de lo que se tiene y se toma algo para sustituirlo. La magia estaba hecha. El contacto se había establecido. Nadie era ya el mismo. El encantamiento había surtido efecto. Gracias a todos por permitirme disfrutar de esta magia”.

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis fue estudiar el efecto de la asociación de especies arbóreas forrajeras en el mejoramiento de la productividad y el reciclaje de nutrimentos en un banco de forraje mixto con la finalidad de evaluar el comportamiento dasométrico de los árboles, el rendimiento, la composición química del forraje; la producción y composición química de la hojarasca; la descomposición y liberación de nutrimentos del follaje de especies arbóreas forrajeras: *Leucaena leucocephala* (Lam). de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam asociadas y en monocultivo. El experimento se realizó en un banco de forraje en el área de agroecología del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán. Las parcelas se encuentran arregladas en un diseño de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera*, *L. leucocephala* + *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* + *M. oleifera*. **Experimento 1.** Se midió el diámetro, altura y el número de rebrotes por árbol. Los árboles se podaron a 1.0 m sobre el nivel del suelo. Se realizaron dos podas en época de sequía y dos en época de lluvias y se cuantificó el rendimiento de forraje. Se determinaron bajos incrementos en los valores de altura y diámetro y una capacidad moderada de recuperación en las especies evaluadas. La mayor producción fue para la asociación *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* con 6.965,2 kg MS /ha. Se concluye que asociar especies es una opción viable para mejorar la producción de forraje. **Experimento 2.** Se determinó el contenido de PC, FDN, FDA, C, N y la relación C:N en el forraje. El follaje de las especies evaluadas estuvo conformado por 61% de hojas, 21% de tallos comestibles y 20% de tallos leñosos y relación hoja: tallo de 1.8. La PC, FDN, FDA, C, N y la proporción C: N son semejantes a los reportados en árboles forrajeros tropicales. Se concluye que la asociación de especies arbóreas es una alternativa para complementar la dieta de los rebaños en la época de escasez de pastos. **Experimento 3.** Se instalaron trampas colectoras y se recolectó la hojarasca durante un año. La producción mayor fue en lluvias, *L. leucocephala* en monocultivo y asociada con *G. ulmifolia* obtuvo mayor producción con 1,022 y 1,542 kg MS/ha/año, respectivamente. *L.*

leucocephala presentó las mayores contribuciones de N, C, y P con 22.0, 443.0 y 0.96 kg MS ha⁻¹ año⁻¹. *L. leucocephala* con *M. oleifera* aportó mayores cantidades de N y C (23.2 y 363.8 kg MS ha⁻¹ año⁻¹). El mayor aporte de fósforo fue para *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (0.74 kg MS ha⁻¹ año⁻¹), se concluye que la asociación de especies promueve una mayor producción de hojarasca y aporte de nutrimentos en comparación con los monocultivos. **Experimento 4.** Se llenaron 120 bolsas (litterbags) con hojas frescas de las especies colectadas de las podas, y se colocaron en cada unidad experimental. Se evaluaron tres periodos de incubación de 4, 8, y 16 semanas por cada época. El proceso de descomposición fue más rápido en la temporada de lluvias. La pérdida de peso, la liberación de N y MO fue más acelerada en *Moringa oleifera* en monocultivo y en la asociación *L. leucocephala* con *M. oleifera*. Los patrones de descomposición de todas las especies siguieron el modelo exponencial simple, con más del 80% de la masa inicial incorporada al final del periodo de estudio. Se concluye que *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en monocultivo y asociadas, demostraron su capacidad para producir considerables cantidades de materia orgánica y liberar importantes cantidades de N en cortos períodos de tiempo.

PALABRAS CLAVE: arboles forrajeros, bancos forrajeros, producción, nutrición animal, hojarasca, descomposición, agroforestería.

SUMMARY

The objective of the present thesis was to study the effect of the association of fodder tree species for improvement the productivity and nutrients recycling of in a mixed fodder bank. with the purpose to evaluate the dasometric behavior of fodder trees, yield and chemical composition of the forage, production and chemical composition of the litterfall and foliage decomposition and nutrient release of fodder tree species: *Leucaena leucocephala* (Lam). de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Moringa oleifera* Lam. in monoculture and intercropping arrangement. The experiments were conducted in a fodder bank in agroecology area of the Biological and Agricultural Sciences Campus of Yucatan Autonomous University. The experimental units were formed in a randomized complete block design, five treatments with four replications. The treatments were *L. leucocephala*, *G. ulmifolia*, *M. oleifera*, *L. leucocephala* + *G. ulmifolia* and *L. leucocephala* + *M. oleifera*. **Experiment 1.** Diameter, height, and number of sprouts per tree were measured. Trees were pruned 1.0 m above ground, first two cuts in the dry season and the last two in rainy and fodder yield was quantified by cuts. Slow increases in height and diameter values with a moderate resilience in the species tested was found. The intercropping *L. leucocephala* and *G. ulmifolia*, obtained higher yields of forage (6.965,2 kg DM / ha). It was concluded that mixed species is a viable option for improving fodder production. **Experiment 2.** The content of PC, FDN, FDA, C, N and C:N ratio in the forage were determined. The species foliage was composed by 61% of leaves, 21% of edible stems and 20% of woody stems and leaf: stem ratio was 1.8. The contents of PC, FDN, FDA, C, N and C: N ratio are similar than reported for tropical trees. It was concluded that fodder tree species would be an alternative to supplement livestock diet during seasonal periods of feed shortage. **Experiment 3.** Litter mesh collector and litterfall was collected throughout one year. The highest litterfall production was in rainy season, *L. leucocephala* in monoculture and intercropped with *G. ulmifolia* showed the highest production with 1,022 and 1,542 kg DM/ha/year, respectively., and *L. leucocephala* had the highest contributions of N, C, and P with 22.0, 443.0 and 0.96 kg DM/ ha/ year. *L. leucocephala* with *M. oleifera* provided greater amounts of N and C (23.2 and

363.8 kg DM/ha/year). The greatest input of phosphorus was by *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* (0.74 kg DM/ha/year), it was concluded that the association of species promotes a greater litter production and nutrient intake compared with monocultures. **Experiment 4.** The litterbag method was employed to evaluate decomposition. A total 120 bags were filled with fresh leaves of the species collected from pruning, and placed in each experimental unit. Three periods of incubation 4, 8, and 16 weeks by season were evaluated. The decomposition process was fastest in the rainy season. The weight loss, nitrogen and organic matter release was faster in *Moringa oleifera* in monoculture and *L. leucocephala* and *M. oleifera* mixed. The decomposition patterns of all species followed the simple exponential model; more than 80% of the initial mass was incorporated at the end of the study period. It was concluded that *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* and *Moringa oleifera* in monoculture and associates showed their ability to produce considerable organic matter and release significant amounts of N in short time periods.

KEYWORDS: fodder trees, fodder banks, production, animal nutrition, litterfall, decomposition, agroforestry

INDICE GENERAL

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Artículo: Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos: Una revisión.	5
Resumen	5
Abstract	5
Introducción	6
Situación actual de los sistemas de producción y alternativas	7
Contribución de los sistemas agroforestales al ciclo de nutrimentos	8
Mejoramiento de la eficiencia del ciclo de nutrientes a través del manejo	9
El papel de las plantaciones mixtas	9
Conclusiones	12
Literatura citada	12
III. HIPÓTESIS	16
IV. OBJETIVOS	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
V. Artículo 1. Rendimiento de forraje de <i>Leucaena leucocephala</i>, <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Moringa oleifera</i> asociadas y en monocultivo en un banco de forraje.	17
Resumen	18
Abstract	18
Introducción	18
Materiales y métodos	19
Resultados y Discusión	21
Crecimiento de los árboles	21
Rendimiento de forraje	22
Conclusiones	23
Agradecimientos	23

Referencias bibliográficas	23
VI. Artículo 2. Composición química y rendimiento de forraje de <i>Leucaena leucocephala</i>, <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Moringa oleifera</i> asociadas y en monocultivo en Yucatán, México	25
Resumen	26
Abstract	27
Introducción	28
Materiales y métodos	29
Resultados y discusión	33
Componentes del follaje	33
Rendimiento de forraje	37
Composición química del forraje	41
Conclusiones	50
Agradecimientos	50
Literatura citada	51
VII. Artículo 3. Producción y calidad de hojarasca en bancos de forraje puros y mixtos en Yucatán, México	60
Resumen	61
Abstract	61
Introducción	61
Materiales y Métodos	62
Resultados y Discusión	64
Dinámica y producción de hojarasca	64
Composición química de la hojarasca	66
Retorno potencial de N, C y P a través de la hojarasca	69
Conclusiones	73
Agradecimiento	73
Literatura citada	73
VIII. Artículo 4. Dinámica de descomposición y liberación de nutrimentos en hojas de <i>Leucaena leucocephala</i>, <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Moringa oleifera</i> en un banco mixto de forraje	75

Resumen	76
Abstract	77
Introducción	78
Materiales y Métodos	79
Resultados y Discusión	84
Dinámica de la descomposición del follaje	84
Pérdida de peso	84
Descomposición y patrones de liberación de Nitrógeno	89
Descomposición y patrones de liberación de Materia Orgánica	94
Conclusiones	100
Agradecimientos	101
Literatura citada	101
IX. DISCUSIÓN GENERAL	109
Introducción	109
Rendimiento y composición química de forraje de <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Moringa oleifera</i> en monocultivo y asociadas	111
Producción y composición química de la hojarasca de especies arbóreas creciendo asociadas y en monocultivo.	117
Descomposición y liberación de nutrimentos del follaje tres especies arbóreas asociadas y en monocultivo	120
X. CONCLUSIONES GENERALES	126
XI. PERSPECTIVAS FUTURAS	128
XII. BIBLIOGRAFÍA	129

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria donde las leñosas perennes interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral y el objetivo es alcanzar una producción sostenible desde el punto de vista social, ecológico y económico (Pezo e Ibrahim, 1998). Los árboles pueden ser sembrados, remanentes de la vegetación natural, o producto de la regeneración natural. Los componentes del sistema pueden aun, interactuar en el tiempo y/o en el espacio (Nair, 1993; Sinclair, 1999).

Muchos árboles forrajeros son originarios de zonas áridas y semiáridas, donde las condiciones del medio son difíciles para el cultivo de los pastos tradicionales; y en estos casos los animales no podrían sobrevivir, por lo que el pastoreo depende exclusivamente de estos árboles. En ciertas circunstancias los árboles pueden producir más forraje que los cereales utilizados para la alimentación animal, caso del algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.) de las zonas secas del norte de África. Los árboles y los arbustos pueden contribuir a asegurar una dieta nutritiva para el ganado.

En algunas zonas tropicales donde la estacionalidad del clima concentra las labores de arado y siembra en la estación lluviosa, no cuentan durante la temporada seca con suficiente forraje para mantener la producción ganadera. Esto hace que el productor tenga acceso a pastos o forrajes fuera de la unidad de producción, en este caso los bosques y matorrales son a menudo la principal fuente suplementaria de alimentos, y es allí donde los árboles forrajeros toman un papel fundamental en la alimentación animal (Petit, 1994).

En muchas zonas de los trópicos subhúmedos y semiáridos, la producción ganadera se ve seriamente limitada por la escasez y la mala calidad de forraje durante la estación seca. El bajo contenido de proteína cruda es la limitación más común de la producción ganadera de los pastos nativos y algunos sistemas se han desarrollado para complementar o mejorar la ingesta de proteína cruda de los animales que pastorean en pastos nativos mediante el acceso, ya sea por temporadas o todo el año, para ello se establecen áreas sembradas de leguminosas arbóreas tropicales. Uno de los métodos de producción de forraje es la

plantación de especies arbóreas de elevado rendimiento, en lo que se ha llamado "bancos forrajeros" o bancos de proteínas de leñosas perennes, que son una forma de disposición de una alta calidad de forraje para el ganado se ha utilizado con éxito utilizando especies leguminosas como *Leucaena leucocephala* Lam. (de Wit.) que es un suplemento alimenticio para el ganado en pastos nativos. (Solorio y Solorio, 2002)

El banco forrajero de corte y acarreo es una práctica silvopastoril ampliamente utilizada en los trópicos y consiste en un sistema de cultivo en el cual las leñosas perennes o las forrajeras herbáceas crecen en bloque compacto y con alta densidad, con miras a maximizar la producción de fitomasa de alta calidad nutritiva (Pezo e Ibrahim, 1998) y la interacción leñosa perenne – animal se da en espacios geográficos distintos, en donde se cosecha el follaje por encima de la altura de corte (hojas y tallos) y luego se traslada a los corrales o los potreros para que los animales lo consuman. El inicio, la frecuencia y altura de corte son factores de manejo que determinan los rendimientos de biomasa comestible del banco forrajero en estos sistemas y tienen que ser adaptados a las condiciones de cada sitio. Cuando hay una necesidad de suplementar la alimentación animal, especialmente de los rumiantes, los bancos forrajeros son una buena alternativa o son un complemento al uso de concentrados. Son usados principalmente para producir forraje de alta calidad; es decir con alto contenido de proteína y de fácil digestión para el ganado.

Por otra parte, la asociación de especies leñosas forrajeras para la alimentación animal es una práctica tradicional agroforestal con siglos de antigüedad. Sin embargo, en las últimas décadas ha recibido mayor atención debido a la creciente necesidad de buscar alternativas locales, que reduzcan la dependencia de insumos externos y minimicen los impactos sobre los recursos naturales.

Por lo anteriormente dicho en esta tesis se abordan los aspectos más importantes de los sistemas en monocultivo y asociados de especies arbóreas en un banco forrajero, los cuales requieren de estrategias de manejo adecuadas que puedan interactuar conjuntamente para lograr un nivel equilibrado de productividad. En

este sentido, la búsqueda y fomento de prácticas tendientes a maximizar la productividad y eficiencia en el reciclaje de nutrientes se hace indispensable. Para ello se evaluó un banco forrajero con cultivos arbóreos locales asociados para determinar la producción y composición química de la biomasa forrajera, la producción y calidad de la hojarasca y la dinámica de descomposición y liberación de nutrientes de *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit.), *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleífera* Lam., en condiciones de la Península de Yucatán, México. En este sentido se aportan conocimientos sobre las técnicas de manejo eficiente de los nutrientes, que se emplean como indicadores para determinar la productividad y sustentabilidad de los sistemas agroforestales.

II Revisión de Literatura

Artículo: Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos: Una revisión

ASOCIACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS FORRAJERAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y EL RECICLAJE DE NUTRIMENTOS*

FODDER TREE SPECIES IN ASSOCIATION TO IMPROVE PRODUCTIVITY AND NUTRIENTS CYCLING

Judith Petit Aldana^{1§}, Fernando Casanova Lugo¹ y Francisco Javier Solorio Sánchez¹

¹Cuerpo Académico de Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales. Campus - Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Carretera Mérida-Xmatkuil, km. 15.5 C. P. 97100, Mérida, Yucatán, México. Tel. 01 99 99 42 32 00 y 9423205, (fkzanov@gmail.com) (ssolorio@uady.mx). [§]Autora para correspondencia: jcpetita@ula.ve.

RESUMEN

Se llevo a cabo una revisión bibliográfica relacionada con la asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrientes en agroecosistemas. Los temas tratados abarcan la situación actual de los sistemas de producción y las alternativas para mejorar su eficiencia. Asimismo, se discute acerca de la contribución de los sistemas agroforestales al ciclo de nutrientes y su mejoramiento a través de estrategias de manejo, también se analizan algunos trabajos realizados en plantaciones forestales mixtas y su aporte en la fertilidad de los suelos, reciclaje de nutrientes y fijación biológica de nitrógeno. Se concluye que, la asociación de especies arbóreas forrajeras puede contribuir a la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas, ya que estas adquieren elementos de alto valor nutricional que ayudan a mejorar la fertilidad del suelo; producen materia orgánica de alta calidad para un eficiente reciclaje de nutrientes, lo que podría incrementar la productividad. De igual forma, se fundamenta que las asociaciones con leguminosas arbóreas establecen simbiosis con microorganismos que mejoran la disponibilidad de elementos en el suelo. Por otra parte, lo anterior no sólo depende de las especies, si no también de los recursos disponibles en el sitio y del manejo del agroecosistema. Sin embargo, aun existen vacíos de

investigación en este tema, puesto que la mayoría de trabajos se han realizado para especies arbóreas maderables en plantaciones forestales.

Palabras clave: forraje, producción, reciclaje de nutrientes.

ABSTRACT

A bibliographical review was made related to the association of fodder tree species for improving the productivity and nutrients recycling in agroecosystems. The covered topics include the situation of actual production systems and strategies to improve their efficiency. Also, the contribution of agroforestry systems in nutrient cycling and their improvement through management is discussed. Documents on mixed forest plantations and their role in soil fertility, nutrient cycling and biological nitrogen fixation, were also analyzed. It was concluded that fodder tree species in association can contribute to the productivity and sustainability of agroecosystems, since they take up nutrients of high nutritional value and contribute towards the improvement of soil fertility, they produce litter of high-

* Recibido: Enero, 2008
Aceptado: Marzo, 2009

quality in an efficient nutrient recycling, that can improve productivity. Furthermore associations of legumes trees species in symbiosis with microorganisms upgrade the availability of soils nutrients. On the other hand, the above-mentioned facts do not depend exclusively on the species, but on the resources available and the management of the agroecosystem. Moreover, there is a lack of research studies in this topic, since most research has been conducted in wooden species in forest plantations.

Key words: fodder, production, nutrient cycling.

INTRODUCCIÓN

La asociación de especies leñosas forrajeras para la alimentación animal es una práctica antigua. Sin embargo, recientemente ha cobrado mayor atención debido a la creciente necesidad de buscar alternativas locales, que reduzcan la dependencia de insumos externos y minimicen daños sobre los recursos naturales.

Algunas leguminosas producen alimentos ricos en proteínas. En ciertas circunstancias los árboles pueden producir más forraje que los cereales, caso del algarrobo de las zonas secas del norte de África. Los árboles y los arbustos pueden contribuir a asegurar una dieta nutritiva para el ganado. Muchos árboles forrajeros son originarios de zonas áridas y semiáridas, donde las condiciones del medio son difíciles para el cultivo de los pastos tradicionales; y en estos casos los animales no podrían sobrevivir, sin embargo el pastoreo depende exclusivamente de estos árboles (National Academy of Sciences, 1979).

En muchas zonas tropicales donde la estacionalidad del clima concentra las labores de arado y siembra en la estación lluviosa, se necesitan muchos más animales de los que pueden mantenerse con los alimentos producidos dentro del sistema agrícola. Esto hace que el agricultor tenga acceso a pastos o forrajes fuera de la explotación agrícola, en este caso los bosques y matorrales son a menudo la principal fuente suplementaria de alimentos, y es allí donde los árboles forrajeros toman un papel fundamental en la alimentación animal (Petit, 1994).

Por lo tanto, cada vez se presta más atención a las relaciones existentes entre las actividades forestales comunitarias y la obtención de forraje: el potencial de

aumentar los suministros de forraje derivado de árboles y bosques, y la necesidad de no interrumpir los suministros actuales de forraje, así como las interacciones entre agricultura y ganadería cuando la tierra se dedica a la silvicultura (National Academy of Sciences, 1979).

Lo anterior, forma parte del panorama mundial del manejo y uso de la tierra, en donde el papel del árbol como estabilizador de suelos no ha sido tomado en cuenta. Muchos árboles restablecen al suelo los nutrientes que habían absorbido los cultivos, y como protegen el humus, salvaguardan los suministros de fertilizantes naturales (Petit, 1994).

En muchas zonas de los trópicos subhúmedos y semiáridos, la producción ganadera se ve seriamente limitada por la escasez y la baja calidad de forraje durante la estación seca. El bajo contenido de proteína cruda es la limitación más común de la producción ganadera de los pastos nativos y algunos sistemas se han desarrollado para complementar o mejorar la ingesta de proteína cruda de los animales que pastorean en pastos nativos mediante el acceso, ya sea por temporadas o todo el año. Para ello se establecen áreas sembradas de leguminosas arbóreas tropicales que forman lo que se conoce como un banco de proteínas. Esta forma de disposición de una alta calidad de forraje para el ganado se ha utilizado con éxito utilizando *Leucaena leucocephala* como suplemento alimenticio para el ganado en pastos nativos (Solorio y Solorio, 2002).

En África y la India, los ganaderos confían excesivamente en el pastoreo y el ramoneo como suplemento alimenticio, particularmente en los últimos meses de la larga estación seca que conlleva la escasez de alimentos. Por ejemplo, se estimó para Botswana que 25% de la dieta anual del ganado fue compuesta por ramoneos en árboles y arbustos, también se observó que durante los meses de mayor sequía del año, este consumo se eleva a un 45% y representa esencialmente toda la proteína adquirida por los animales (National Academy of Sciences, 1979).

Esta revisión discute los aspectos más importantes de los sistemas asociados de especies arbóreas, los cuales requieren de estrategias de manejo adecuadas que puedan interactuar conjuntamente para lograr un nivel equilibrado de productividad. Por ello, es oportuno explicar las técnicas de manejo eficiente de los nutrimentos, que se emplean como indicadores para

determinar la productividad y sustentabilidad de los sistemas agropecuarios. En este sentido, la búsqueda y fomento de prácticas tendientes a maximizar la productividad y eficiencia en el reciclaje de nutrientes se hace indispensable.

Situación actual de los sistemas de producción y alternativas

El continuo crecimiento poblacional y la demanda por alimento han sobrepasado la capacidad de los suelos para mantener la productividad de manera constante, lo que ha ocasionado la degradación ambiental poniendo en riesgo la estabilidad productiva de los sistemas agropecuarios (Craswell *et al.*, 2004). El problema de la fertilidad de suelos se encuentra estrechamente relacionado con un balance negativo de nutrientes y es uno de los principales problemas a los que se enfrentan los sistemas de producción agropecuarios (Craswell *et al.*, 2004). El balance de nutrientes, es decir, la diferencia entre las entradas y salidas de un sistema, es negativo en casi todos los sistemas de producción actuales tradicionales (Powell *et al.*, 2004).

La remoción excesiva y constante de vegetación en el caso de la ganadería resulta en un desbalance de nutrientes dejando los suelos sin suficientes reservas para mantenerse productivos. El problema se agudiza cuando los nutrientes “cosechados” no son, aunque sea en parte, regresados a su lugar de origen tal es el caso de la ganadería extensiva con base en pastizales. Estos aunque se mantienen productivos los primeros años son de mala calidad, principalmente deficientes en nitrógeno (N) e insuficientes en la época de secas, ya que declinan drásticamente su productividad. Numerosos estudios en los trópicos han concluido que la proteína y la energía son los principales elementos que limitan la producción de los sistemas agropecuarios basados en pastos (Ku-Vera *et al.*, 1999).

Es de primordial importancia mantener la productividad de los sistemas incorporando estrategias tendientes a mejorar la fertilidad del suelo por medio de un reciclaje más eficiente de nutrientes entre los diferentes componentes de un sistema agroforestal. Estos sistemas deben tener el potencial de aportar nutrientes a los sistemas de producción animal principalmente de proteína, ya que es considerada el factor principal que limita la producción animal en los trópicos (Nair *et al.*, 1999).

Las especies arbustivas juegan un papel principal en la fertilidad de los suelos ya que incorporan N atmosférico y reciclan cantidades significativas de nutrientes por medio de producción e incorporación de hojarasca al suelo (Chikowo *et al.*, 2006; Sileshi y Mafongoya, 2007). Estudios recientes indican que las arbustivas cuando crecen en callejones producen aproximadamente 20 t por ha de MS al año conteniendo alrededor de 358 kg de N, 28 kg de P, 232 kg de K y 144 kg de Ca (Palm, 1995). Las leguminosas como *Leucaena* (Huaxim) tienen la capacidad de liberar en un tiempo corto más de 50% del contenido total de nutrientes como el N, K y el P cuando se incorporan al suelo (Bossa *et al.*, 2005), lo cual indica la excelente calidad de la biomasa que estas especies poseen para ser utilizadas en la recuperación de suelos degradados.

El asociar especies podría ser una estrategia para mejorar la fertilidad del suelo como es el caso de asociar especies fijadoras de N atmosférico con especies no leguminosas. Datos exploratorios indican que la mezcla del follaje de especies de diferente calidad con una relación C/N baja puede favorecer la descomposición el follaje de otra especie de baja calidad, adicionalmente fomentan significativamente el reciclaje de nutrientes en sistemas de cultivos asociados (Forrester *et al.*, 2005).

Sin embargo, la dinámica de estos nutrientes y como pueden estar relacionadas estas diferencias en tasa descomposición son aún desconocidas, ya que los estudios de producción y descomposición de materia orgánica (MO) de especies que crecen asociadas han sido escasos (Forrester *et al.*, 2006) pero con resultados muy prometedores en cuanto a la calidad y pertinencia en la liberación e incorporación de nutrientes al suelo ya que ocurre un mayor flujo de estos nutrientes causados principalmente por las diferencias en la composición química y propiedades físicas de la hojarasca originadas por las distintas especies (Hättenschwiler *et al.*, 2005).

Adicionalmente, las arbustivas como *L. leucocephala* y *Moringa oleífera* son especies de rápido crecimiento que producen considerables cantidades de biomasa de excelente calidad para alimentar animales (rumiantes y monogástricos), principalmente como suplemento de pasturas en la época de escasez (Gutteridge y Shelton, 1994). *Leucaena* puede fijar aproximadamente 70% del

N que necesita (Van Kessel *et al.*, 1994). Si se considera de que en sistemas asociados se incrementa los niveles de N por consiguiente también se incrementa el área foliar y la captura de luz y fotosíntesis y por tanto se incrementa la calidad y producción total del sistema (Smethurst *et al.*, 2003). Estudios agroforestales han mostrado que una gran proporción del N fijado puede ser transferido a las plantas no leguminosas asociadas (Crews y Peoples, 2005); sin embargo, los procesos que explican dichas interacciones entre especies arbóreas cuando estas se encuentran asociadas no han sido dilucidados del todo (Moyer-Henry *et al.*, 2006).

En el sistema suelo-planta, los nutrimentos de la planta están en un estado de continua transferencia dinámica. Las plantas toman los alimentos del suelo y los utilizan para los procesos metabólicos. Algunas de las partes de la planta tales como hojas y raíces muertas vuelven al suelo durante el crecimiento vegetal, y dependiendo del tipo de utilización del suelo y de la naturaleza de las plantas, las partes de la planta son adicionadas al suelo cuando son cosechadas (Nair, 1993).

La hojarasca o biomasa agregada se descompone a través de los microorganismos del suelo, y los nutrimentos que han sido confinados en las partes de las plantas son liberados al suelo donde llegan a estar una vez más disponibles para ser tomados de nuevo por las plantas. En sentido limitado, el ciclo de nutrientes se refiere a esta continua transferencia de nutrimentos del suelo a la planta y de vuelta al suelo. En un sentido amplio el ciclo de nutrientes implica la continua transferencia de nutrimentos dentro de los diferentes componentes del ecosistema e incluye procesos como: la meteorización de los minerales, actividades de la biota del suelo, y otras transformaciones que ocurren en la biosfera, atmósfera, litosfera e hidrosfera (Jordan, 1985).

Los sistemas agroforestales y otros sistemas basados en árboles son reconocidos como más eficientes en el ciclo de nutrientes que muchos otros sistemas, porque la presencia del componente leñoso sugiere efectos beneficiosos sobre el suelo. Estas leñosas perennes tienen, teóricamente, sistemas radiculares más extensos y profundos que las plantas herbáceas,

puesto que tienen un potencial para capturar y reciclar una gran cantidad de nutrimentos. La contribución de la hojarasca a la superficie del suelo es probablemente mayor que aquella de las plantas herbáceas (Nair, 1993).

Contribución de los sistemas agroforestales al ciclo de nutrimentos

Una representación esquemática del patrón general del ciclo de nutrientes en un sistema agroforestal en comparación con un sistema agrícola y un sistema forestal se muestra en la Figura 1. Se puede observar que los ciclos del N, P, K y otros elementos, varían considerablemente, y deben ser considerados en forma individual. No obstante, todos ellos tienen algunas características comunes tal como se indica en el modelo. El ciclo consiste de entradas (ganancias), salidas (pérdidas) y transferencia y retorno dentro del sistema. Las rutas de estas ganancias, pérdidas y transferencias también son similares: las entradas a través de fertilizantes, precipitación, polvo, materiales orgánicos fuera del sistema, y fijación de N, así como meteorización de las rocas (por otros elementos); las principales salidas se derivan de la erosión, percolación, y de la cosecha de los cultivos (para todos los nutrimentos), desnitrificación y volatilización (por N) y combustión (por N y S).

Los ecosistemas forestales representan ciclo de nutrientes en sistemas cerrados y eficientes, esto significa que estos sistemas tienen altas tasas de retorno y bajas tasas de pérdidas (así como también de ganancias), en otras palabras, son autosostenibles. Por otra parte, los sistemas agrícolas a menudo son abiertos o permeables, lo que significa que el retorno dentro del sistema es relativamente bajo y las pérdidas así como las ganancias son comparativamente altas. El ciclo de nutrientes en sistemas agroforestales está entre estos dos extremos, más nutrimentos en el sistema son reusados por las plantas antes de que se pierdan del mismo. La principal diferencia entre sistemas agroforestales y otros usos de la tierra yace en la transferencia o retorno de los nutrimentos dentro del sistema de un componente a otro, y de la posibilidad del manejo del sistema o sus componentes para facilitar el aumento de las tasas de retorno sin afectar la productividad total del mismo (Nair, 1993).

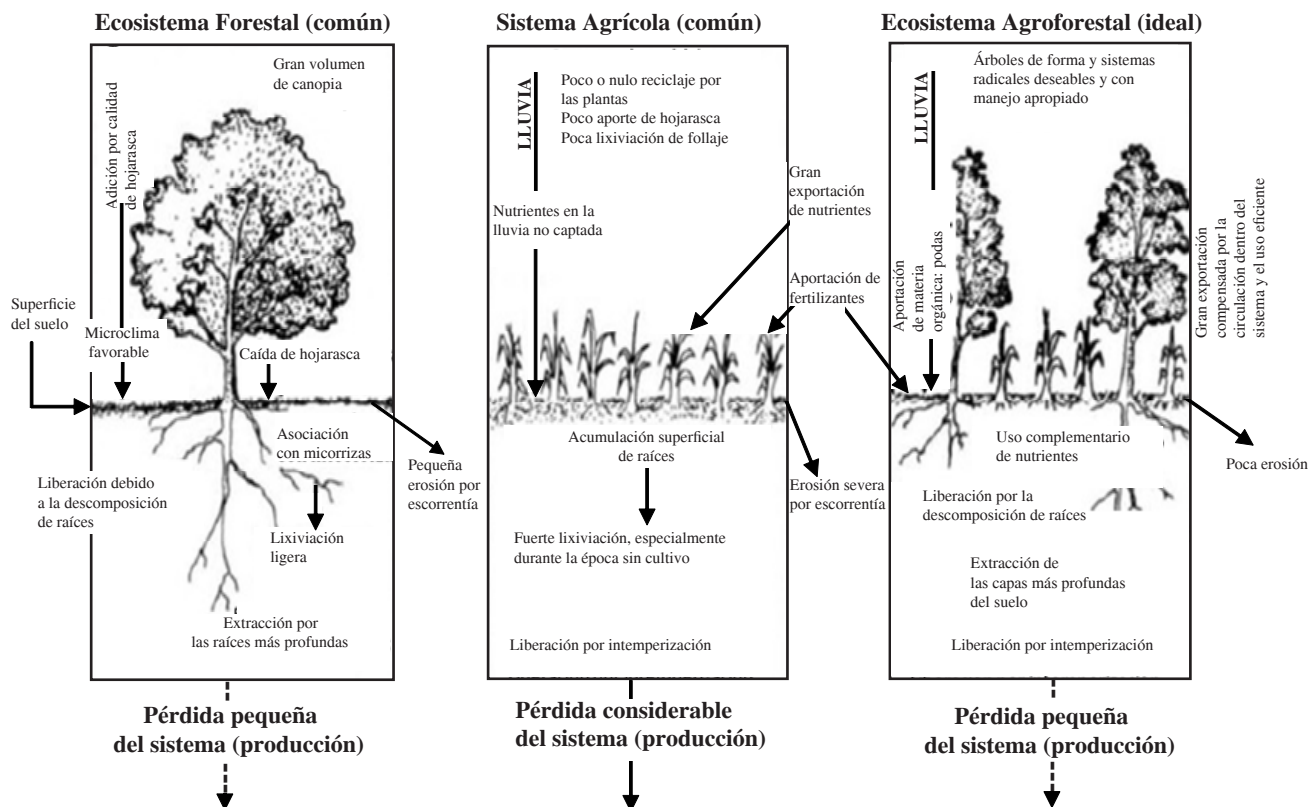


Figura 1. Representación esquemática de las relaciones de nutrientes y ventajas de un sistema agroforestal “ideal” en comparación con sistemas forestales y agrícolas. Fuente: Nair (1993).

Mejoramiento de la eficiencia del ciclo de nutrientes a través del manejo

Los sistemas agroforestales proporcionan una oportunidad para modificar el ciclo de nutrientes a través del manejo, cuando se comparan con sistemas agrícolas, el cual resulta en el uso más eficiente de los nutrientes del suelo, sin agregados externos (tal como los fertilizantes) o la disponibilidad a través de procesos naturales (e.g., la meteorización). Los mecanismos fundamentales que contribuyen a un eficiente ciclaje de nutrientes, así como también a otras consideraciones en sistemas agroforestales, las resume Nair (1993) a como sigue:

- 1) hay un potencial para mejorar la absorción de nutrientes desde los horizontes más profundos del suelo.
- 2) las ganancias de la fijación simbiótica de N por los árboles pueden ser mejoradas a través de la selección de especies de árboles y las mezclas de estos.
- 3) los nutrientes liberados desde la biomasa del árbol pueden ser sincronizados con los requerimientos del cultivo al controlar la calidad, cantidad, tiempo y método

de aplicación de las podas, como el abono, especialmente en cultivos en callejones.

- 4) prácticas de manejo que conducen a mejorar el estado de materia orgánica en el suelo, inevitablemente conducirán a mejorar el ciclo de nutrientes y la productividad del suelo.
- 5) otra consideración principal de manejo en agroforestería es la posibilidad de reducir la pérdida de nutrientes a través de métodos de conservación de suelos.

El papel de las plantaciones mixtas

Las plantaciones mixtas son plantaciones con dos o más especies, que pueden estar constituidas tanto por varias especies principales como por una o más especie(s) principal(es) asociadas a una o más especie(s) secundaria(s), sean éstas arbóreas o arbustivas.

Las plantaciones mixtas tienen el potencial de aumentar la producción de biomasa y el secuestro de carbono (Kaye *et al.*, 2000; Resh *et al.*, 2002; Binkley *et al.*, 2003; Bauhus *et al.*, 2004), así como otros beneficios, entre ellos la mejora de la fertilidad del suelo y el ciclaje de nutrientes (Binkley

et al., 2000; Montagnini, 2000), la protección contra plagas y enfermedades, y la conservación de agua (FAO, 1992; Montagnini, 2000). Además, pueden funcionar como un sistema silvicultural para la producción de madera de alto valor y una gama más amplia de productos (Keenan *et al.*, 1995; Montagnini *et al.*, 1995; De Bell *et al.*, 1997). Por lo tanto, las plantaciones mixtas, puede ser utilizada para satisfacer una amplia gama de objetivos económicos, silvicultura, y sostenibilidad. El éxito de una plantación mixta dependerá de los objetivos específicos del rodal. Por otra parte es difícil predecir qué combinaciones de especies conducirán a los aumentos en productividad en las plantaciones mixtas cuando no existe ninguna información. Esto depende no sólo de las cualidades de la especie, sino también de factores del sitio tales como disponibilidad del agua y de alimento (Forrester *et al.*, 2005).

La mayoría de los suelos pobres en el mundo son deficitarios en N y en P (Hussein Zahran, 1999). La fijación biológica de N (FBN) puede ser utilizada como una herramienta de mejora en esos casos. Las hojas de los árboles fijadores de N (AFN) se suelen usar para mejorar la fertilidad de suelos pobres ya sea en forma de mantillo o de abono verde; esta hojarasca suele ser de rápida descomposición aunque existen grandes diferencias entre géneros (Binkley y Giardina, 1997).

Cuando se utilizan AFN en sistemas agroforestales, la liberación de nutrientes desde la hojarasca debe estar en sincronía con la demanda del cultivo para obtener el beneficio buscado (Powell, 1995). En la rehabilitación de suelos agotados por actividades agrícola-ganaderas intensivas se han utilizado pasturas y cultivos perennes o anuales (Francis *et al.*, 1999) y también la reforestación con AFN como *Acacia mangium*, *Alnus* spp., *Casuarina* spp., *L. leucocephala*, *Mimosa scabrella* y *Paraserianthes falcataria* (Halenda, 1990; Halenda y Ting, 1993; Powell, 1995). El mayor crecimiento de los AFN respecto de los no fijadores puede generar en aquellos una mayor demanda de nutrientes del suelo, especialmente de N, P y Mg (Binkley y Giardina, 1997), situación que puede limitar su crecimiento.

En suelos infértiles de Malasia, abandonados por agricultura migratoria, *Acacia mangium* creció más que *L. leucocephala* y mostró una buena producción de hojarasca que contribuyó a estabilizar el sitio contra la erosión (Halenda, 1988). Por el contrario, experimentos realizados en suelos de India empobrecidos por décadas de deforestación y mal uso

de la tierra, permitieron concluir que no hay suficiente evidencia de que los árboles fijadores de N crezcan mejor que los no fijadores (Puri y Naugraiya, 1998, citado por Ferrari y Wall, 2004), aunque no se verificó si los árboles tenían nódulos o si estaban fijando N.

En suelos deficientes en N, la selección de genotipos puede ser importante dada la diversidad genética observada en algunas especies en cuanto a la FBN; en un experimento con *Casuarina* spp. las plantas de distintos orígenes inoculadas con *Frankia* tuvieron crecimiento más variable que las plantas bien fertilizadas con N mineral (Sanginga *et al.*, 1990).

Los AFN, pueden estimular el crecimiento de la vegetación vecina debido a la descomposición de sus hojas, a la exudación radicular de N fijado y a la intervención de las micorrizas (Binkley y Giardina, 1997).

En Puerto Rico, se realizó un estudio en plantaciones mixtas, entre *Casuarina equisetifolia*, *L. leucocephala* y *Eucalyptus robusta*. La mezcla *Casuarina-Leucaena* tuvo la mayor biomasa tras cuatro años de crecimiento mientras que la biomasa de *Eucalyptus* en la mezcla con *Leucaena* fue menor que en el monocultivo (Parrotta *et al.*, 1994), indicando que el beneficio de una mejor nutrición de N puede ser mitigado por competencia por otros nutrientes del suelo (Binkley y Giardina, 1997).

Los suelos de Hawai presentan limitaciones en N para el crecimiento de *Eucalyptus*, por lo cual se ensayan plantaciones mixtas con AFN. En la costa húmeda de Hamakua en Hawai (4 600 mm anuales de lluvia), *Eucalyptus saligna* creció más en cinco años en mezclas 50:50 con *Acacia melanoxylon* (acacia australiana) o con *Paraserianthes falcataria* que en la plantación pura. En otro experimento, la mezcla *Eucalyptus-Paraserianthes* (50:50) sin fertilización durante seis meses creció más que una plantación pura de *Eucalyptus* fertilizada cada 6 meses con N durante los tres primeros años. En cambio en la costa sudeste más seca (1 700 mm anuales) la mezcla no funcionó tan bien. Se concluye que en la costa húmeda la necesidad de fertilizar *Eucalyptus* con N después del primer año pudo ser reemplazada por plantaciones mixtas 50:50 con *Paraserianthes falcataria* (Schubert *et al.*, 1988; citado por Ferrari y Wall, 2004).

Otros experimentos realizados en Hawai, referidos por Binkley y Giardina (1997), demostraron que la productividad de las plantaciones mixtas dependería

de complejas interacciones entre el suministro de recursos y la eficiencia de uso de los mismos, así como de características propias de cada sitio.

Los tres tipos más importantes de interacciones que pueden presentarse en plantaciones mixtas son: la competencia, reducción de la competencia, y facilitación (Vandermeer, 1989; Kelty, 1992). La competencia se produce cuando las plantas interactúan y al menos una especie ejerce un efecto negativo sobre la otra (Vandermeer, 1989). La reducción de la competencia se produce cuando la competencia interespecífica por la limitación de recursos en la asociación es más débil que la competencia intra-específica en los monocultivos (Kelty y Cameron, 1995). Esto ocurre a menudo, cuando hay una repartición de los recursos, ya sea superficial (luz) o subterráneo (agua o nutrientes) (Kelty y Cameron, 1995; Casanova *et al.*, 2007).

La facilidad se produce cuando una especie tiene un efecto positivo en la otra especie (Vandermeer, 1989), por ejemplo, cuando las especies que fijan el N aumentan el crecimiento de otra especie. Las plantaciones de especies mixtas serán más productivas que los monocultivos, en el caso de que la facilitación y reducción de la interacción por competencia superen las interacciones competitivas.

Uno de los objetivos principales de la plantación de especies fijadoras de N con árboles como *Eucalyptus* spp, es aumentar la disponibilidad de N a través de la fijación simbiótica y la aceleración de las tasas del ciclaje de nutrientes. En un ensayo de plantaciones mixtas de *Eucalyptus globulus* y *Acacia mearnsii*, el aumento en la disponibilidad de nutrientes surgió a los 25 meses, cuando los incrementos en las concentraciones de N en el follaje senescente de *E. globulus* se produjo en las plantaciones mezcladas en comparación con las plantaciones puras (Khanna, 1997).

Existen varios mecanismos mediante los cuales la disponibilidad de N se haya incrementado para *E. globulus* en asociación con *A. mearnsii*: 1) las especies que no fijan N pueden utilizarlo después que la planta y los tejidos microbianos mueren y se descomponen expulsando el N para así completar su ciclo en el ecosistema (Van Kessel *et al.*, 1994; May y Attiwill, 2003); 2) también el N puede ser transferido entre las plantas vía exudación de la raíz o por las conexiones de las

micorrizas entre los sistemas radiculares, cuando ambas especies forman simbiosis con las mismas micorrizas. *Eucalyptus* spp. y *Acacia* spp. pueden formar simbiosis con los hongos de la micorriza arbuscular (Bellei *et al.*, 1992; Adjoud-Sadadou y Halli-Hargas, 2000).

Sin embargo, no hay evidencias que este proceso ocurra en mezclas de eucaliptos y de acacias; 3) porque las plantas fijadoras de N, a menudo dependen mucho del N fijado, el cual puede estar entre 10% hasta aproximadamente 100% del usado por la planta fijadora (Binkley y Giardina, 1997; Khanna, 1998; Fisher y Binkley, 2000; May y Attiwill, 2003) y así, más N puede estar disponible en el suelo para las plantas antes que N fijado sea ciclado y transferidos a los árboles de *Eucalyptus globulus*.

Las tasas de fijación de N son muy variables y en general son causadas por los mismos factores que afectan el crecimiento de las plantas (Danso *et al.*, 1992; Binkley y Giardina, 1997; Fisher y Binkley, 2000). Las altas tasas de fijación de N ($>50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) se han estimado para muchas especies, por ejemplo, *L. leucocephala* y *Facaltaria molucanna* (Binkley, 1992; Binkley y Giardina, 1997; Khanna, 1998; Fisher y Binkley, 2000; May y Attiwill, 2003). Sin embargo, algunas especies fijadoras de N como *A. melanoxylon* parecen tener bajas tasas de fijación de N ($<10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), y pueden no ser capaces de contribuir de manera significativa a la nutrición de las especies no fijadoras de N. La capacidad de facilitación de estas especies dependerá de sus habilidades para realizar el ciclo de nutrientes.

Además de los aumentos en la disponibilidad de N a través de la fijación simbiótica, mediciones en hojarasca mostraron que las tasas de ciclaje de N y P fueron significativamente mayores en las parcelas que contienen sólo 25% *A. mearnsii*, en comparación con *E. globulus* en plantaciones puras (Forrester *et al.*, 2004). Las parcelas que contienen sólo *A. mearnsii* también tuvieron altas tasas de descomposición de la hojarasca en comparación con las plantaciones puras de *E. globulus*. Incrementos similares en el ciclo de nutrientes o en la disponibilidad de N y P de especies fijadoras de N han sido observados en otros estudios, tanto en plantaciones y bosques nativos, incluyendo algunas comunidades con mezcla de especies que contienen *Eucalyptus* (Binkley *et al.*, 2000; May y Attiwill, 2003). Es importante señalar que los aumentos en el ciclo del N y en la disponibilidad de plantas fijadoras de N, pueden influir en la disponibilidad de otros nutrientes (Binkley *et al.*, 2000; Kaye *et al.*, 2000).

El efecto de las plantas fijadoras de N sobre el ciclo de nutrientes en plantaciones mixtas depende de la cantidad de N (y de otros nutrimentos) en la hojarasca y de la velocidad a la que estos nutrimentos son liberados a través de la descomposición. Para aumentar efectivamente las tasas del ciclo de nutrientes en plantaciones mixtas, las especies fijadoras de N deben producir grandes cantidades de hojarasca fácilmente descomponible. Incluso especies con bajas tasas de fijación de N ($<10 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), pero con alto contenido de nutrientes foliares pueden mejorar el ciclo de nutrientes en rodales mixtos. En plantaciones mixtas de 11 años de edad, en mezclas 1:1 de *E. globulus* y *A. mearnsii*, cayeron 44 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de hojas en el mantillo en comparación con plantaciones puras *E. globulus* que aportaron 14 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y las tasas de descomposición fueron del 0.56 y 0.32 año^{-1} , respectivamente (Forrester *et al.*, 2004).

Pocos estudios han examinado los mecanismos responsables del crecimiento resultante de una alta disponibilidad de N en rodales mixtos. Esa alta disponibilidad puede acrecentar el crecimiento por el aumento y la eficiencia del área foliar (Cromer y Eldridge, 2001).

CONCLUSIONES

Esta revisión, evidencia que la asociación de especies arbóreas forrajeras puede contribuir a la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas.

Es de resaltar que las especies arbóreas poseen elementos de alto valor nutricional que ayudan a reducir problemas de fertilidad en los suelos; incorporando hojarasca de buena calidad para un eficiente reciclaje de nutrimentos y de esta manera aumentar la posibilidad de mejorar la productividad de la especie(s) asociada(s).

Del mismo modo, las leguminosas arbustivas pueden establecer simbiosis con bacterias y hongos, que mejoran la disponibilidad de elementos limitantes para su crecimiento.

La asociación de especies arbóreas, puede utilizarse para satisfacer una amplia gama de objetivos productivos, ecológicos y económicos. Sin embargo, esto no sólo depende de las características de las especies, sino también en

gran medida de los recursos disponibles del sitio, tales como; luz, agua y nutrimentos del suelo, así como también del manejo del agroecosistema.

Es importante señalar que existen vacíos de investigación sobre este tema en la literatura, específicamente con especies arbóreas forrajeras, puesto que la mayoría de trabajos se han realizado para especies arbóreas maderables en plantaciones forestales.

LITERATURA CITADA

- Adjoud-Sadadou, D. and Halli-Hargas, R. 2000. Occurrence of arbuscular mycorrhiza on aged Eucalyptus. *Mycorrhiza* 9:287-290.
- Bauhus, J.; van Winden, A. P. and Nicotra, A. B. 2004. Above-ground interactions and productivity in mixed-species plantations of *Acacia mearnsii* and *Eucalyptus globulus*. *Can. J. Forest. Res.* 34:686-694.
- Bellei, M. M.; Garbaye, J. and Gil, M. 1992. Mycorrhizal succession in young *Eucalyptus viminalis* plantations in Santa Catarina (southern Brasil). *Forest. Ecol. Managem.* 54:205-213.
- Binkley, D. 1992. Mixtures of nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing tree species. *In*: Cannell, M.G.R., Malcolm, D. C., Robertson, P. A. (Eds.). *The ecology of mixed species stands of trees*. Blackwell Scientific, London, p. 99-123.
- Binkley, D. and Giardina, C. 1997. Nitrogen fixation in tropical forest plantations. *In*: Nambiar, E. K. S., Brown, A. G. (Eds.), *Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. p. 297-337.
- Binkley, D.; Giardina, C. and Bashkin, M. A. 2000. Soil phosphorous pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia facaltaria*. *Forest. Ecology and Management.* 128:241-247.
- Binkley, D.; Senock, R.; Bird, S. and Cole, T. G. 2003. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and N-fixing *Facaltaria moluccana*. *Forest Ecol. Managem.* 182:93-102.
- Bossa, J. R.; Adams, J. F.; Shannon, D. A. and Mullins, G. L. 2005. Phosphorus and potassium release pattern from leucaena leaves in three environments of Haiti. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 73:25-35.

- Casanova, L. F.; Ramírez, A. L. and Solorio, S. F. J. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 11(3):41-52.
- Chicowo, R.; Mapfumo, P.; Leffelaar, P. A. and Giller, K. E. 2006. Integrating legumes to improve N cycling on smallholder farms in sub-humid Zimbabwe: resource quality, biophysical and environmental limitations. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 76:219-231.
- Craswell, E. T.; Grote, U.; Henao, J. and Vlek, P. L. G. 2004. Nutrient flows in agricultural production and international trade: ecological and policy issues. Discussion papers on development policy, Center for Development Research (ZEF) Bonn, Germany.
- Crews, T. E. and Peoples, M. B. 2005. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 72:101-120.
- Danso, S. K. A.; Bowen, G. D. and Sanginga, N. 1992. Biological nitrogen-fixation in trees in agroecosystems. *Plant. Soil.* 141:177-196.
- De Bell, D. S.; Cole, T. C. and Whitesell, C. D. 1997. Growth, development, and yield of pure and mixed stands of *Eucalyptus* and *Albizia*. *For. Sci.* 43:286-298.
- Ferrari, A. E. y Wall, L. G. 2004. Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Rev. Fac. Agron.* 105 (2):63-87.
- Fisher, R. F. and Binkley, D. 2000. Ecology and management of forest soils. Wiley, New York.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1992. Mixed and pure forest plantations in the tropics and subtropics. FAO. Forestry paper 103 (based on the work of T. J. Wormald). FAO of the UN, Rome, Italy.
- Forrester, D. I.; Bauhus, J. and Cowie, A. L. 2005. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globules* and *Acacia mearnsii*. *For. Ecol. Managem.* 209:147-155.
- Forrester, D. I.; Bauhus, J.; Cowie, A. L. and Vanclay, J. 2006. Mixed-species plantations: of *Eucalyptus globules* and *Acacia mearnsii* with nitrogen-fixing trees: a review. *For. Ecol. Managem.* 233:211-230.
- Francis, G. S.; Tabley, F. J. and White, K. M. 1999. Restorative crops for the amelioration of degraded soil conditions in New Zealand. *Aust. J. Soil Res.* 37:1017-1034.
- Gutteridge, R. C. and Shelton, H. M. 1994. Forage tree legumes in tropical agriculture. CAB International, Wallingford, UK.
- Halenda, C. 1988. Performance of *Acacia mangium* Willd. and *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. at Niah forest reserve, Sarawak. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 6:15-17.
- Halenda, C. J. 1990. Growth rates of three leguminous tree species on degraded acidic soils. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 8:40.
- Halenda, C. J. and Ting, S. P. 1993. Performance of three legume tree species on degraded acidic soils. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 11:29.
- Hättenschwiler, S.; Tiunov, A. V. and Scheu, S. 2005. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36:191-218.
- Hussein-Zahran, H. 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiol. Molec. Biol.* 63:968-989.
- Jordan, C. F. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. John Wiley & Sons. Chichester. 189 p.
- Kaye, J. P.; Resh, S. C.; Kaye, M. W. and Chimmer, R. A. 2000. Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of *Eucalyptus* and *Albizia* trees. *Ecology*. 81:3267-3273.
- Keenan, R.; Lamb, D. and Sexton, G. 1995. Experience with mixed species rainforest plantations in North Queensland. *Commun. For. Rev.* 74:315-321.
- Kelty, M. J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. In: Kelty, M. J., Larson, B. C., Oliver, C. D. (Eds.). The ecology and silviculture of mixed-species forests. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. p. 125-141.
- Kelty, M. J. and Cameron, I. R. 1995. Plot designs for the analysis of species interactions in mixed stands. *Commun. For. Rev.* 74:322-332.
- Khanna, P. K. 1997. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *For. Ecol. Managem.* 94:105-113.
- Khanna, P. K. 1998. Nutrient cycling under mixed-species tree systems in Southeast Asia. *Agrofores. Systems.* 38:99-120.

- Ku-Vera, J. C.; Ramírez, A. L.; Jiménez, F. G.; Alayon, J. A. and Ramírez, C. L. 1999. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico. *In*: Sánchez, M. D. y Rosales, M. M. (eds). Agroforestería para la producción animal en América Latina. Roma, Italia. p. 231-258.
- May, B. M. and Attiwill, P. M. 2003. Nitrogen-fixation by *Acacia dealbata* and changes in soil properties 5 years after mechanical disturbance or slash-burning following timber harvest. *For. Ecol. Managem.* 181:339-355.
- Montagnini, F. 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *For. Ecol. Managem.* 134:257-270.
- Montagnini, F.; Gonzales, E. and Porras, C. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. *Commun. For. Rev.* 74:306-314.
- Moyer-Henry, K. A.; Burton, J. W.; Israel, D. W. and Rufty, T. W. 2006. Nitrogen transfer between plants: A ^{15}N natural abundance study with crop and weed species. *Plant. Soil.* 282:7-20.
- Nair, P. K. R.; Buresh, D. N.; Mugendi, D. N. and Latt, C. R. 1999. Nutrient Cycling in tropical agroforestry systems: Myths and science. *In*: Buck L. E., Lassoie J. P. and Fernandez E. C. M. (ed) *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. CRC Press, Lewis Publ., Boca Raton, FL.
- Nair, P. K. R. 1993. *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, The Netherlands. 499 p.
- National Academic of Sciences. 1979. *Tropical legumes: resources for the future*. NAS Washington D.C. 331 p.
- Palm, C. A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agrofores. Systems.* 30:105-124.
- Parrota, J. A.; Baker, D. D. and Fried, M. 1994. Application of ^{15}N -enrichment methodologies to estimate nitrogen fixation in *Casuarina equisetifolia*. *Canadian J. Forest. Research.* 24:201-207.
- Petit, A. J. 1994. Árboles y arbustos forrajeros. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, Venezuela 174 p.
- Powell, J. M.; Pearson, A. R. and Hiernaux, P. H. 2004. Crop-Livestock Interactions in the West African Drylands. Review and Interpretation. *Agron. J.* 96:469-483.
- Powell, M. H. 1995. Nitrogen fixing trees and shrubs for acid soils-An overview. *In*: Nitrogen fixing trees for fodder production. Daniel J. N. & J. M. Roshetko, Ed. Winrock International, Morrilton, p.73-81.
- Resh, S. C.; Binkley, D. Parrota, J. A. 2002. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with *Eucalyptus* species. *Ecosystems* 5:217-231.
- Sanginga, N.; Danso, S. K. A. and Bower, G. D. 1989. Nodulation and growth response of *Allocasuarina* and *Casuarina* species to phosphorus fertilization. *Plant. Soil.* 118:125-132.
- Solorio, S. F. J and Solorio, S. B. 2002. Integrating fodder trees in to animal production systems in the tropics. *Tropical & Subtropical Agroecosystems.* 1:1-11.
- Sileshi, G. and Mafongoya, P. L. 2007. Quantity and quality of organic inputs from coppicing leguminous trees influence abundance of soil macrofauna in maize crops in eastern Zambia. *Biology Fertility Soils.* 43:333-340.
- Smethurst, P.; Baillie, C.; Cherry, M. and Holz, G. 2003. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. *For. Ecol. Managem.* 176:531-542.
- Van Kessel, C.; Farrel, R. E.; Roskoski, J. P. and Keane, K. M. 1994. Recycling of the naturally occurring ^{15}N in an established stand of *Leucaena leucocephala*. *Soil Biology Biochemistry.* 26:757-762.
- Vandermeer, J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge University Press, New York.

Esta tesis ha sido estructurada de la siguiente forma: **Artículo 1:** Comprende el estudio de las características dasométricas y el rendimiento de forraje de especies arbóreas forrajeras en monocultivo y asociadas durante la época de lluvias y sequía en un banco de forraje. Se concluye que la asociación de especies es una opción viable para la producción de forraje. **Artículo 2:** Se discute sobre la composición química del forraje, los componentes del follaje y el rendimiento de especies arbóreas forrajeras en monocultivo y asociadas en la época de lluvias y sequía en un banco de forraje. Se concluye que la asociación de especies es una alternativa para completar la dieta de los rebaños en la época de escasez de pastos. **Artículo 3:** Se aborda la temática de la producción y la calidad de hojarasca en un banco de forraje puro y mixto de especies arbóreas forrajeras en monocultivo y asociadas, durante la época de lluvias y sequía. Se concluye que la asociación de especies promueve una mayor producción de hojarasca y aporte de nutrimentos en comparación con los monocultivos. **Artículo 4:** Contiene la evaluación la dinámica de descomposición y liberación de nutrimentos en un banco puro y mixto de forraje en hojas de especies arbóreas forrajeras en monocultivo y asociadas durante tres periodos de incubación de 4,8 y 16 semanas para cada época del año. Se concluye que se incorporó más del 80% de la masa inicial y que las especies asociadas y en monocultivo demostraron su capacidad para producir MO y liberar N en cortos periodos de tiempo.

III. Hipótesis

- En bancos de forraje mixtos de especies arbóreas (*L. leucocephala* con *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* con *M. oleífera*) existe mayor eficiencia en el reciclaje de nutrimentos
- La asociación de especies arbóreas (*L. leucocephala* con *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* con *M. oleífera*) genera una mayor eficiencia en la producción de biomasa.

IV. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la asociación de especies arbóreas forrajeras en el mejoramiento de la productividad y el reciclaje de nutrimentos en un banco de forraje mixto.

Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento y la composición química de forraje de tres especies arbóreas forrajeras (*L. leucocephala* con *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* con *M. oleífera*) asociadas y en monocultivo.
- Estimar la producción y la composición química de la hojarasca de especies arbóreas creciendo asociadas y en monocultivo.
- Estimar la descomposición y liberación de nutrimentos del follaje de tres especies arbóreas asociadas y en monocultivo.

V. Artículo1. Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje.

Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje

*Fodder yield of intercropping and monoculture fodder bank of **Leucaena leucocephala**, **Guazuma ulmifolia** and **Moringa oleifera***

JUDITH PETIT ALDANA¹,
FERNÁNDO CASANOVA LUGO²
y FRANCISCO SOLORIO SANCHEZ²

¹ Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, Venezuela, E-mail: jcpetita@ula.ve
² Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México, E-mails: fkzanov@gmail.com, ssolorio@uady.mx

Recibido: 21-11-09 / Aceptado: 20-05-10

Resumen

En la Península de Yucatán, la producción ganadera se ve seriamente limitada por la escasez y la mala calidad de forraje durante la estación seca, por lo que las especies arbóreas forrajeras son una opción para mitigar la baja disponibilidad de forraje. Se evaluó el rendimiento de forraje y el comportamiento dasométrico de *Leucaena leucocephala* (Lam). De Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam. en un banco forrajero en monocultivo y asociadas y durante la época seca y de lluvias. Las unidades experimentales se encuentran arregladas en un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento, en densidades de 10.000 plantas/ha y 20.000 plantas/ha, se midieron el diámetro basal del tallo principal, altura total y el número de rebrotes por árbol. Se podaron los árboles a 1,0 m sobre el nivel suelo, correspondiendo los dos primeros cortes a la época seca y los dos últimos a la época de lluvias. En cada corte, se cuantificó el rendimiento de forraje (kg MS/ha). Se determinaron bajos incrementos en los valores de altura y diámetro, además de una capacidad moderada de recuperación en el número de rebrotes en las especies evaluadas. La asociación *G. ulmifolia* y *L. leucocephala*, obtuvo mayores rendimientos de forraje entre épocas (2.580,9 kg MS/ha) y acumulado (6.965,2 kg MS/ha), lo que indica que esta combinación es una opción viable para mejorar la producción de forraje. El rendimiento de forraje acumulado fue mayor en la época de lluvias.

Palabras clave: producción de forraje, especies forrajeras, crecimiento, sistemas silvopastoriles.

Abstract

In the Yucatan Peninsula, livestock production is seriously constrained by the limited amount and poor quality of animal fodder during the dry season; and fodder tree species are an option to mitigate the low availability of forage. Dasometric behavior and fodder yield of *Leucaena leucocephala* (Lam). De Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Moringa oleifera* Lam. in a fodder bank in monoculture and intercropping arrangement, during the dry and rainy season were evaluated. The experimental units were formed in a randomized complete block design; five treatments with four replications. Monoculture and intercropping tree density were 10,000 and 20,000 plants/ha, respectively, basal diameter of main stem, total height and number of sprouts per tree were measured. Trees were pruned 1.0 m above the ground, first two cuts in dry season and the last two in rainy season. In each cut, fodder yield (kg DM/ha) were measured. Slow increase in height and diameter with a moderate resilience in number of sprouts in the species tested was found. The intercropping *G. ulmifolia* and *L. leucocephala*, obtained higher yields of forage between seasons (2,580.9 kg DM/ha) and accumulated (6,965.2 kg DM/ha), indicating that this combination is a viable option for improving fodder production. The accumulated fodder yield was higher in the rainy season.

Key words: fodder production, fodder species, growth, silvopastoral systems.

1. Introducción

Uno de los métodos de producción de forraje es la plantación de especies arbóreas de elevado rendimiento a densidades altas, en lo que se ha llamado "bancos forrajeros". Algunas leguminosas producen alimentos muy ricos en proteínas. En ciertas

circunstancias los árboles pueden producir más forraje que los cereales utilizados para la alimentación animal, caso del algarrobo de las zonas secas del norte de África. Muchos árboles forrajeros son originarios de zonas áridas y semiáridas, donde las condiciones del medio son difíciles para el cultivo de los pastos tradicionales; y en estos casos los ani-

males no podrían sobrevivir, por lo que el pastoreo depende exclusivamente de estos árboles (National Academy of Sciences, 1979).

La utilización de árboles forrajeros en sistemas agroforestales como bancos de proteína utilizados mediante el sistema de corte y acarreo ha sido vista como alternativa tecnológica para mantener o mejorar la productividad animal y la sostenibilidad (Solorio, 2005).

En muchas zonas de los trópicos subhúmedos y semiáridos, la producción ganadera se ve seriamente limitada por la escasez y la mala calidad de forraje durante la estación seca. El bajo contenido de proteína cruda es la limitación más común de la producción ganadera de los pastos nativos y algunos sistemas se han desarrollado para complementar o mejorar la ingesta de proteína cruda de los animales que pastorean en pastos nativos mediante el acceso, ya sea por temporadas o todo el año, para ello se establecen áreas sembradas de leguminosas arbóreas tropicales que forman lo que se conoce como un banco de proteínas. Esta forma de disposición de una alta calidad de forraje para el ganado se ha utilizado con éxito utilizando *Leucaena leucocephala* como suplemento alimenticio para el ganado en pastos nativos (Solorio y Solorio, 2002).

Las especies arbóreas forrajeras juegan un papel principal en la fertilidad de los suelos ya que incorporan nitrógeno atmosférico y reciclan cantidades importantes de nutrientes por medio de producción e incorporación de hojarasca al suelo (Chikowo *et al.*, 2006; Sileshi y Mafongoya, 2007). Estudios recientes indican que cuando crecen en callejones producen aproximadamente 20 t por ha de MS al año conteniendo alrededor de 358 kg de N, 28 kg de P, 232 kg de K, 144 kg de Ca (Palm, 1995). Leguminosas como *L. leucocephala* tienen la capacidad de liberar en un tiempo corto más del 50% del contenido total de nutrimentos como el N, K y el P cuando se incorporan al suelo (Bossa *et al.*, 2005), lo cual indica la excelente calidad de la biomasa que estas especies poseen para ser utilizadas en la recuperación de suelos degradados.

Russo y Botero (2005), señalan que las especies arbustivas y arbóreas lignifican principalmente en los tallos y no tanto en las hojas, como si ocurre en la mayoría de las gramíneas tropicales utilizadas para el pastoreo. De allí, la mayor estabilidad en la calidad nutricional del follaje de las especies

leñosas a través del tiempo, por otra parte, la cantidad de biomasa producida por los árboles forrajeros en un sistema silvopastoril será función de la densidad de plantación, el arreglo, las especies, la frecuencia y altura a la que se regule el corte. La remoción total o parcial del follaje también puede influir en el tiempo de recuperación.

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el comportamiento dasométrico y el rendimiento de forraje de tres especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en un banco de forraje.

2. Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el área de agroecología del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México, durante el periodo enero a octubre 2009. La zona presenta un clima Aw₀ según la clasificación de Köppen con una precipitación promedio anual de 953 mm, concentrándose de junio a octubre el 82 % de las precipitaciones (García, 1988).

La temperatura media anual es de 26,5 °C, siendo el mes de abril el más caluroso donde se alcanzan temperaturas máximas de 38 °C y mínimas de 22,3 °C, el mes más frío es diciembre, con una temperatura máxima de 29,2 °C y una mínima de 18,8 °C. La humedad relativa varía de 66 %, en el mes de abril, a 85 %, en el mes de septiembre. Los suelos predominantes de esta zona son litosoles (tsek'el –nomenclatura maya-) con una moderada fertilidad con 1-1,5 % de carbono orgánico y un pH de 7,5 a 7,8, poco profundos con áreas rocosas y relativamente poco fértiles (Bautista *et al.*, 2005).

El área experimental tiene una historia de uso como sistema de corte y acarreo de forraje, el cual ha estado operando durante siete años. Las podas que se realizan son totales, en las que se remueve la mayor parte de toda la biomasa foliar (>90 % del follaje), cuatro veces al año; dos podas en época seca y dos en época de lluvias (Solorio, 2005). Las unidades experimentales se encuentran arregladas en un diseño de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 4 bloques por tratamiento (Figura 1).

Las plantas fueron establecidas por trasplante, cuando alcanzaron 30 cm de altura aproximadamente. En total se establecieron veinte parcelas (5 parcelas por bloque) de 10 x 20 m con las especies

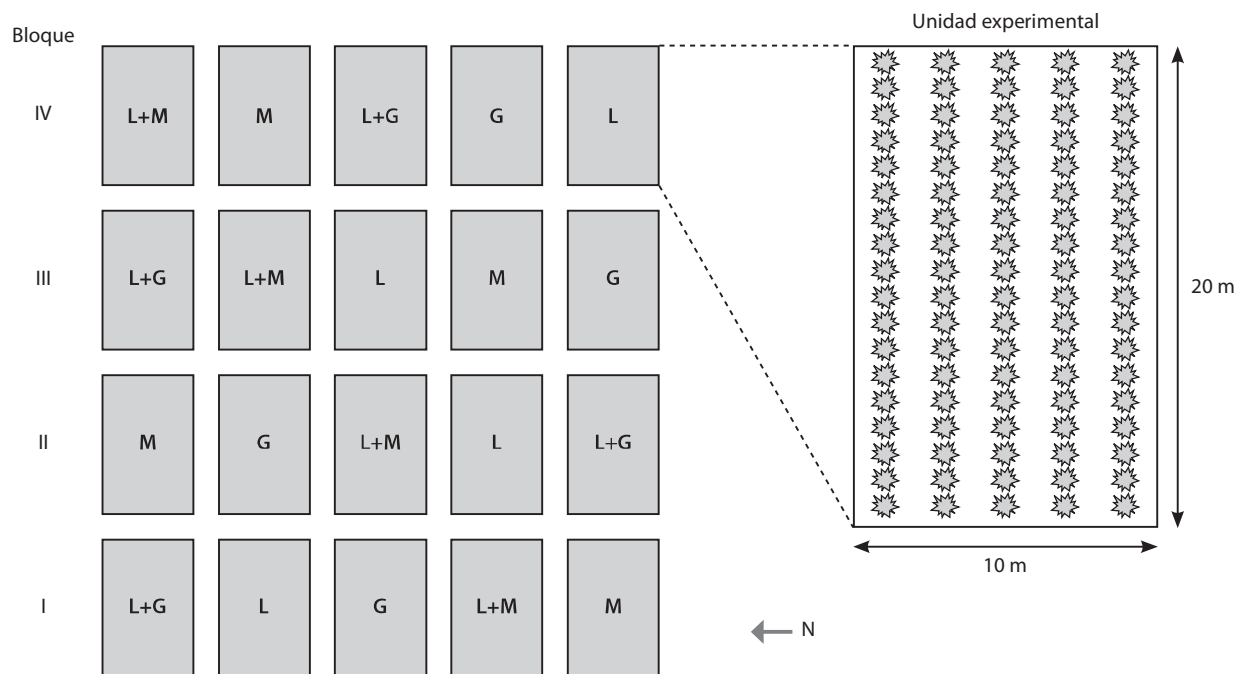


Figura 1. Arreglo experimental de las especies en estudio en el experimento. (L+M) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Moringa oleifera*; (L+G) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Guazuma ulmifolia*, (L) *Leucaena leucocephala* en monocultivo; (M) *Moringa oleifera* monocultivo y (G) *Guazuma ulmifolia* en monocultivo en Yucatán, México.

L. Leucocephala (Lam.) De Wit. *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam. ya sea en monocultivo o asociadas entre sí, fueron plantados en hileras a lo largo de la parcela, con una separación entre hileras de 2 m y entre plantas de 0,5 m, la densidad de plantas para el sistema asociado fue del doble en comparación con el monocultivo (10.000 y 20.000 plantas/ha, respectivamente), aunque la densidad por especie fue constante (10.000 plantas/ha). Cada parcela consta de cinco hileras, donde solamente tres hileras se considera la parcela útil. Así mismo, se realizan deshierbes dos veces al año y se aplica riego de auxilio en la época seca dos veces por semana.

La edad de los árboles del banco forrajero es de 7 años, para ello se realizó el conteo de sobrevivencia del ensayo y se determinó el tamaño de la muestra, mediante la fórmula de Scheaffer *et al.* (1993). Se seleccionaron en total 140 árboles y en cada unidad experimental se eligieron 5 árboles de cada especie cuando se hallaba en monocultivo y asociada, bajo el criterio de competencia completa. A cada árbol se le realizaron mediciones de diámetro basal del tallo principal (a 5 cm del suelo), altura

total (tomada a partir de la base del suelo hasta el ápice de la rama más alta del tallo principal) y el número de rebrotes por árbol.

A finales de enero y abril (época de sequía), julio y octubre (época de lluvias) de 2009 se podaron los árboles a una altura de 1,0 m sobre el nivel suelo, correspondiendo los dos primeros cortes a la época seca y los dos últimos a la época de lluvias. En cada corte, se cuantificó el rendimiento de forraje (kg MS/ha) y se tomaron muestras de follaje de aproximadamente 300g, que fueron separadas en componentes (hoja y tallo), y secadas a 60°C en una estufa de circulación de aire forzado hasta obtener un peso constante con la finalidad de cuantificar el contenido de materia seca (MS).

Los datos dasométricos y el producto de las podas se compararon mediante un análisis de varianza para medidas repetidas de acuerdo al diseño de bloques al azar con el programa Statgraphics© para Windows versión 5.1. Cuando se presentaron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de error Tipo I.

3. Resultados y discusión

3.1 Crecimiento de los árboles

Se detectaron diferencias significativas entre las especies asociadas y en monocultivo ($p \leq 0,05$). El cuadro 1, muestra la comparación múltiple, según el método de Tukey, de las medias de alturas, diámetros basales y número de rebrotes de los árboles del experimento, en cuatro ocasiones de medición.

En el cuadro 1, se observa que en la época de sequía las alturas estuvieron en el rango de 1,2 m y 1,0 m, tanto en los monocultivos como en las asociaciones. Por lo que se nota que esta variable no tuvo un efecto determinante sobre los arreglos del experimento.

Los diámetros basales presentaron diferencias significativas entre las especies estudiadas ($p \leq 0,05$), se puede observar que cuando las especies se encuentran plantadas en monocultivo presentaron los mayores valores, entre 5,4 cm y 4,0 cm.

Por otra parte en las asociaciones el mayor valor correspondió a *G. ulmifolia* asociada con *L. leucocephala* y el menor a *M. oleifera* asociada con *L. leucocephala* (Cuadro 1).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Casanova *et al.*, 2009 en un sistema agrosilvopastoril en condiciones fisiográficas similares, donde se observó que la asociación *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*, obtuvo valores menores de altura y diámetro con respecto a las mismas especies en monocultivo, posiblemente debido a la fuerte com-

petencia entre ellas dado que poseen sistemas radicales análogos.

En cuanto al número de rebrotes, se observa que *G. ulmifolia* en monocultivo fue la especie de mayor capacidad de recuperación y la menor fue *M. oleifera*. La asociación de *G. ulmifolia* y *L. leucocephala*, fue la combinación con mejor capacidad de rebrote, a diferencia de la asociación de *M. oleifera* y *L. leucocephala*, que fue la menor (Cuadro 1).

Para la época de lluvias como se muestra el cuadro 1, se observaron diferencias significativas en las alturas de los árboles ($p \leq 0,05$), *G. ulmifolia* presentó la mayor altura y *M. oleifera* la menor, cuando están en monocultivo. En las asociaciones la mayor altura correspondió a *G. ulmifolia* con *L. leucocephala* y la menor a *L. leucocephala* asociada a *M. oleifera*. Para este periodo el efecto de la variable altura también tuvo poco impacto ($p \leq 0,05$).

El monocultivo de *G. ulmifolia* obtuvo el valor mayor diámetro basal, seguido de *M. oleifera* y el menor fue para *L. leucocephala*. En los arreglos asociados el mayor diámetro fue para *G. ulmifolia* con *L. leucocephala* y el menor para la asociación *M. oleifera* con *L. leucocephala*.

Asimismo, el número de rebrotes producidos fue mayor para *G. ulmifolia* en monocultivo y menor para *M. oleifera* en la misma condición, en las asociaciones *G. ulmifolia* con *L. leucocephala* tuvo mayor cantidad de rebrotes que *M. oleifera* asociada con *L. leucocephala*.

En ensayos realizados en Costa Rica, los árboles plantados en bancos forrajeros de *G. ulmifolia*

Cuadro 1. Variables dasométricas de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo para la época de sequía y lluvias en Yucatán, México.

Especies	Época de Sequía			Época de Lluvias		
	Altura (m)	Diámetro (cm)	Nº Rebotes	Altura (m)	Diámetro (cm)	Nº Rebotes
<i>G. ulmifolia</i> monocultivo	1,2±0,02 ^a	5,4±0,15 ^a	33,1±2,54 ^a	1,4±0,05 ^{ab}	5,8±0,18 ^a	46,5±4,26 ^a
<i>G. ulmifolia</i> asociada <i>L. leucocephala</i>	1,2±0,03 ^a	3,8±0,24 ^{bc}	21,7±2,19 ^{bc}	1,5±0,07 ^a	4,6±0,22 ^{bc}	36,2±2,50 ^b
<i>L. leucocephala</i> monocultivo	1,2±0,03 ^a	4,0±0,21 ^{bc}	25,3±2,20 ^b	1,2±0,06 ^{bc}	4,5±0,21 ^{bcd}	24,4±1,99 ^c
<i>L. leucocephala</i> asociada <i>G. ulmifolia</i>	1,1±0,02 ^{ab}	3,4±0,26 ^c	14,3±1,23 ^d	1,2±0,07 ^c	3,9±0,26 ^{cd}	12,2±1,07 ^{de}
<i>L. leucocephala</i> asociada <i>M. oleifera</i>	1,1±0,02 ^{ab}	3,3±0,17 ^c	17,8±1,42 ^{cd}	1,1±0,06 ^c	3,9±0,14 ^{cd}	17,5±1,54 ^{cd}
<i>M. oleifera</i> monocultivo	1,0±0,02 ^b	4,6±0,31 ^c	6,4±0,79 ^e	1,1±0,06 ^c	4,9±0,31 ^{ab}	3,9±0,40 ^e
<i>M. oleifera</i> asociada <i>L. leucocephala</i>	1,1±0,01 ^b	3,2±0,24 ^{ab}	4,3±0,55 ^e	1,2±0,06 ^{bc}	3,7±0,22 ^d	3,8±0,46 ^e

Medias seguidas por la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente ($p \leq 0,05$).

alcanzaron alturas de 2,1 y 4,0 m y en diámetro 2,8 y 4,4 cm en lugares con calidad de sitio diferente (Catie, 2000). Por otra parte para Colombia, *G. ulmifolia* obtuvo alturas entre 1,0 y 1,9 m y diámetros entre 1,6 y 2,6 cm, asimismo *L. leucocephala* presentó alturas entre 1,6 y 3,0 m (Múnera, 2009), estos valores son superiores a los encontrados en el experimento. Por otra parte, Moreno y Narváez (2005), reportan para *M. oleifera*, valores de altura de 1,7 y 2,2 m y en diámetro de 2,3 y 2,8 cm, en una primera y segunda poda de un banco forrajero en Nicaragua, estos valores al compararlos son superiores para la altura e inferiores para el diámetro.

Comparando los dos periodos evaluados, se observó que la altura, diámetro y la capacidad de recuperación en número de rebrotes fue mayor en la época de lluvias. En forma general se puede indicar que el incremento de las variables evaluadas, entre las dos épocas del año fue muy bajo, comparado con los datos reportados en la literatura para ensayos similares (Salazar *et al.*, 1987; Catie, 1991), posiblemente debido a los regímenes de poda, a la densidad o a factores ambientales que afectan a las especies.

3.2 Rendimiento de Forraje

Se detectaron diferencias significativas entre épocas y entre las especies asociadas y en monocultivo ($p \leq 0,05$). El cuadro 2, muestra la comparación múltiple, según el método de Tukey, de las medias de rendimiento de forraje de las especies en mono-

cultivo y asociadas en la época de sequía y lluvias y en los rendimientos acumulados para las dos épocas y las especies.

En el periodo de sequía se observa que, *G. ulmifolia* en monocultivo obtuvo el mayor rendimiento de forraje (1.876,1 kg MS/ha) y el menor *M. oleifera* (1.062,0 kg MS/ha). En las asociaciones, *G. ulmifolia* con *L. leucocephala* obtuvo el mayor valor con 2.053,6 kg MS/ha, mientras la asociación *M. oleifera* con *L. leucocephala*, el menor (74,2 kg MS/ha). Por otra parte para el periodo de lluvias se presentó la misma situación para las especies tanto en monocultivo como asociadas.

Sánchez *et al.* (2005), reportaron que el rendimiento de forraje de *L. leucocephala* al inicio y durante la época seca estuvo entre 596,8 y 1.382,4 kg MS/ha y para el periodo de lluvias estuvo entre 730,8 y 1.391,6 kg MS/ha. Estos rendimientos son menores que los obtenidos en este estudio y a los reportados en otras investigaciones (Francisco *et al.*, 1997; García *et al.*, 1997).

Moreno y Narváez (2005), en un estudio realizado en Nicaragua en dos podas en condiciones de clima tropical, reportan rendimientos de forraje de *M. oleifera*, de 1.265 y 2.327 kg MS/ha, valores superiores comparados con los resultados del presente estudio.

El rendimiento acumulado de forraje entre épocas mostró diferencias significativas y fue mayor para la época de lluvias. Por otra parte, en cuanto a especies la asociación *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* obtuvo el mayor valor y el menor *M.*

Cuadro 2. Rendimiento de forraje (kg MS/ha) de tres especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo para la época de sequía y lluvias en Yucatán, México.

Especies	Sequía	Lluvias	Promedio
<i>G. ulmifolia</i> monocultivo	1876,1±441,6 ^a	2699,3±940,0 ^{ab}	2287,7±411,6 ^{ab}
<i>G. ulmifolia</i> asociada <i>L. leucocephala</i>	2053,6±1084,4 ^a	3108,1±713,2 ^a	2580,9±527,5 ^a
<i>L. leucocephala</i> monocultivo	1468,7±626,5 ^a	1560,7±430,2 ^{ab}	1514,7±46,0 ^{abc}
<i>L. leucocephala</i> asociada <i>G. ulmifolia</i>	813,6±455,4 ^{ab}	990,0±401,2 ^{ab}	901,8±88,2 ^{cd}
<i>L. leucocephala</i> asociada <i>M. oleifera</i>	916,5±145,8 ^a	810,6±201,5 ^{ab}	863,6±53,0 ^{cd}
<i>M. oleifera</i> monocultivo	1062,0±1062,0 ^{ab}	1390,7±754,3 ^{ab}	1226,4±164,4 ^{bcd}
<i>M. oleifera</i> asociada <i>L. leucocephala</i>	74,2±74,3 ^b	469,0±343,6 ^b	271,6±197,4 ^d

Medias seguidas por la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente ($p \leq 0,05$).

oleifera asociada con *L. leucocephala*, con valores de 2.580,9 y 271,6 kg MS/ha, respectivamente (Cuadro 2).

La figura 2, muestra el rendimiento acumulado de forraje por tratamiento, correspondiente al año 2009, se observa que *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* asociadas (6.965,2 kg MS/ha) fue mayor que *G. ulmifolia* en monocultivo (4.575,4 kg MS/ha) y *L. leucocephala* en monocultivo (3.029,3 kg MS/ha), se puede inferir que la asociación puede mejorar considerablemente la producción de forraje al diferenciar dos tipos de alimentos, que podrían tener un impacto positivo en la alimentación de los rebaños.

Por otra parte en la misma figura se observa que la asociación *M. oleifera* y *L. leucocephala*, no mostró un rendimiento significativo (2.270,2 kg MS/ha), comparado cuando éstas especies están en monocultivo.

Es importante destacar que la asociación de especies leñosas puede incrementar el rendimiento y la calidad de forraje, sin embargo es importante detectar los efectos benéficos y perjudiciales entre los componentes, para minimizar la influencia de los efectos negativos en la productividad del sistema. Casanova (2007) y Casanova *et al.* (2009), señalan que la asociación de especies leñosas actúa recíprocamente de muchas formas, desde una severa competencia, hasta la complementación y/o facilitación. Incluso, donde se presenta competencia; puesto que ésta no es necesariamente negativa para el sistema en su totalidad, ya que pueden presentarse mejoras en el uso de los recursos del suelo.

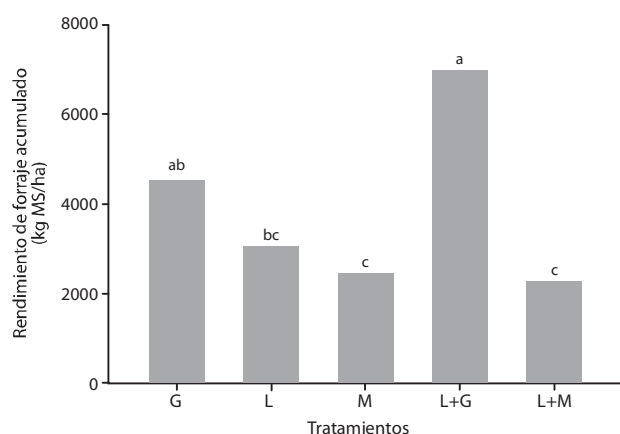


Figura 2. Rendimiento acumulado de forraje de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. Letras distintas difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$).

4. Conclusiones

Se determinaron bajos incrementos en los valores de altura y diámetro, además de una capacidad moderada de recuperación en el número de rebrotes en los dos periodos evaluados. En ambas épocas de evaluación (sequía y lluvias), la asociación *G. ulmifolia* y *L. leucocephala*, obtuvo los mayores rendimientos de forraje, consecuentemente el mayor rendimiento de forraje acumulado en el año, lo que indica que esta combinación puede ser una opción viable para mejorar la producción de forraje. El rendimiento de forraje acumulado fue mayor en la época de lluvias.

5. Agradecimientos

A la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, financiadora de los estudios doctorales de la Profa. Judith Petit Aldana, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y al personal técnico del área de forrajes del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la UADY.

6. Referencias bibliográficas

- BAUTISTA, F., D. PALMA-LÓPEZ y W. HUCHIN-MALTA. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán. In: *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. F. Bautista y G. Palacio (eds.). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México. 105-122 pp.
- BOSSA, J. R., J. F. ADAMS, D. A. SHANNON y G. L. MULLINS. 2005. Phosphorus and potassium release pattern from leucaena leaves in three environments of Haiti. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 73: 25-35.
- CASANOVA, L.F., M.A. CAAMAL, S.F.J. SOLORIO y C.J. CASTILLO. 2009. Comportamiento agronómico de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. 1^{er} Congreso Internacional de Agronomía Tropical y 2^{do} Simposio Nacional Agroalimentario. 28 al 30 de septiembre de 2009. Villahermosa, Tabasco, México.
- CASANOVA, L. F. 2007. Efecto de la poda sobre la biomasa foliar y radicular en especies leñosas en monocultivo y asociación. Trabajo de grado. Maestría

- en Ciencias. Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Yucatán. Mérida, México. 265 p.
- CATIE, 1991. *Leucaena leucocephala* (Lam de Wit): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Serie Técnica N° 166. Turrialba, Costa Rica. 60 p.
- CATIE, 2000. *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina*. Volumen I. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 44 p.
- CHICOWO, R., P. MAPFUMO, P.A. LEFFELAAR y K.E. GILLER, K.E. 2006. Integrating legumes to improve N cycling on smallholder farms in sub-humid Zimbabwe: resource quality, biophysical and environmental limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76: 219-231.
- FRANCISCO, G., L. SIMÓN L. y M. SOCA. 1997. Efecto de tres alturas de corte en el rendimiento de biomasa de *Leucaena leucocephala* CV. CNIA-250. *Pastos y forrajes* 21 (4): 25-47.
- GARCÍA, A.L., T. CLAVERO, R. RAZZ, D. ESPARZA, O. MAVARES y L. TERAN. 1997. Efecto de diferentes láminas de riego sobre el crecimiento vegetativo de la *Leucaena leucocephala*. (Lam.) De Wit. *Rev. Fac. Agron.* 17: 78-89.
- GARCÍA, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 298 p.
- MORENO, J.C. y O.J. NARVAEZ. 2005. Evaluación de la producción de forraje de *Moringa oleifera* (Lam), *Cnidioscolus aconitifolium* (Mill) L.M. Johnst y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit, para banco proteico en Pacora, San Francisco Libre. Trabajo de grado. Ciencias Forestales, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 52 p.
- MÚNERA, J. 2009. Establecimiento y evaluación de *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia*, como bancos de proteína en la región de Santafé de Antioquia (bs-T). En línea: <http://www.agronet.gov.co> [Consultado: 02/01/2010].
- NATIONAL ACADEMIC OF SCIENCES. 1979. *Tropical legumes: resources for the future*. NAS, Washington D.C., USA. 331 p.
- PALM, C.A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry systems* 30: 105-124.
- RUSSO, R. y R. BOTERO. 2005. El componente arbóreo como recurso forrajero en los sistemas silvopastoriles. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, EARTH, San José, Costa Rica. En línea: <http://www.produccion-animal.com.ar> [Consultado: 02/01/2010].
- SÁNCHEZ, A., C. ROMERO, C. ARAQUE y R. FLORES. 2005. Producción de materia seca de *Leucaena leucocephala* a diferentes edades de corte y épocas del año bajo un sistema de riego artesanal. *Zootecnia Tropical* 23 (1): 45-62.
- SALAZAR, R., W. PICADO y L. UGALDE. 1987. *Comportamiento de la Leucaena en Costa Rica*. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica N° 115. Turrialba, Costa Rica. 50 p.
- SILESHI, G. y P.L. MAFONGOYA. 2007. Quantity and quality of organic inputs from coppicing leguminous trees influence abundance of soil macrofauna in maize crops in eastern Zambia. *Biology Fertility Soils* 43: 333-340.
- SOLORIO, F.J. y B. SOLORIO. 2002. Integrating fodder trees in to animal production systems in the tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1: 1-11.
- SOLORIO, S. F. J. 2005. Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non/leguminous shrubs. PhD Thesis, Institute of Atmospheric and Environment Science. Edinburgh, Scotland. 200 p.
- SCHEAFFER, R. L., W. MENDENHALL y L. OTT. 1993. *Elementos de muestreo*. Grupo Editorial Iberoamericana. México. 321 p.

VI. Artículo 2. Composición química y rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en Yucatán, México

**Composición química y rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*,
Guazuma ulmifolia y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en
Yucatán, México.**

JUDITH PETIT ALDANA^{1,3}, GABRIEL URIBE VALLE², FERNÁNDO CASANOVA
LUGO³,
FRANCISCO SOLORIO SANCHEZ³, LUIS RAMIREZ AVILÉS³

Título abreviado: Composición química y rendimiento de forraje

Chemical composition and fodder yield of *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* and *Moringa oleifera* intercropping and monoculture in Yucatan, Mexico.

¹Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, Venezuela, Correo-e: jcpetita@ula.ve

² Investigador Titular C. (Jubilado) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP). Yucatán, México. Correo-e: gabriel.uribe@ula.ve

³Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México, Correo-e: fkzanov@gmail.com, ssolorio@uady.mx, raviles@uady.mx

Resumen

En el trópico la producción ganadera es limitada por la escasez y la mala calidad de forraje durante la estación seca. Se evaluó la composición química y el rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje durante la temporada de lluvias y sequía. Las unidades experimentales siguen el diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, en densidades de 10 000 y 20 000 plantas/ha. Se podaron los árboles a 1,0 m de altura correspondiendo los dos primeros cortes a la época de sequía y los dos últimos a lluvias. Se cuantificó el rendimiento de forraje (t MS /ha) y se determinó el

Artículo sometido a arbitraje en la Revista Forestal Latinoamericana, Instituto Forestal Latino Americano (IFLA), Mérida, Venezuela. Elaborado de acuerdo a la norma editorial de la revista.

contenido de PC, FDN, FDA, C, N y la relación C:N en el forraje cosechado. El follaje de las especies evaluadas estuvo conformado por 61% de hojas, 21% de tallos comestibles y 20% de tallos leñosos y una relación hoja: tallo de 1.8. La asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* produjo la mayor cosecha de forraje, en la temporada de lluvias (4,1 t MS / ha) con una producción de 7,0 t MS/ha/año. La PC, FDN, FDA, C, N y la proporción C:N son semejantes a los reportados para árboles forrajeros tropicales. Se concluye que la asociación de especies arbóreas es un potencial para la producción de forraje en las condiciones del trópico mexicano y es alternativa para complementar la dieta de los rebaños en la época de escasez de pastos.

Palabras clave: producción de forraje, árboles forrajeros, nutrición animal, sistemas silvopastoriles

Abstract

In tropical lands livestock production is limited by amount and poor quality of animal fodder during the dry season; and fodder tree species are an option to mitigate the low availability of forage. Chemical composition and forage yield of *Leucaena leucocephala* (Lam). de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Moringa oleifera* Lam. in a fodder bank in monoculture and intercropping arrangement, during the dry and rainy season were evaluated. The experimental units were formed in a randomized complete block design; five treatments with four replications. Monoculture and intercropping tree density were 10,000 and 20,000 plants/ha, respectively. Trees were pruned 1.0 m above the ground, first two cuts in dry season and the last two in rainy season. In each cut, fodder yield (t DM /ha) were measured. The contents of CP, NDF, ADF, C, N and C: N ratios were determined. The species foliage was composed by 61%of leaves, 21%edible stems and 20% woody stems and leaf: stem ratio of 1.8. . *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* intercropping obtained higher yields of forage in rainy season (4.1t DM /ha) and accumulated (7.0 t MS/ha/year). The contents of CP, NDF, ADF, C, N and C:N ratios were similar than reported for tropical fodder trees. We concluded that fodder tree species in association is significant potential for the production of

forage in Mexican tropic, because would be an alternative to supplement livestock diet during seasonal periods of feed *shortage*.

Key words: fodder production, fodder trees, animal nutrition, silvopastoral systems.

INTRODUCCIÓN

La ganadería tropical ha establecido su desarrollo en los pastos que tienen un potencial extraordinario para la producción de biomasa de forma estacional, los cuales presentan menores contenidos de proteína cruda, mayores concentraciones de fracciones fibrosas, menor digestibilidad y menor índice de consumo comparado con los pastos de zonas templadas. Se reconoce que es necesario incorporar elementos que resuelvan el volumen de forraje en la época de sequía, así como su calidad, en la búsqueda de sistemas sostenibles (Palma, 2005).

La pérdida de la fertilidad de los suelos, la degradación de las pasturas, la contaminación de las fuentes hídricas, el incremento de emisiones de gases con efecto invernadero y la baja productividad de las fincas ganaderas son reflejo del uso de tecnologías que limitan el potencial para la producción de carne y leche que ofrece el trópico en sus diferentes agroecosistemas. El acceso a nuevos nichos de mercado internacional hace necesario reestructurar los sistemas de producción de carne y leche, no sólo para mejorar la cantidad y calidad de los productos, sino para acceder a mercados especiales donde la conservación de los recursos naturales y el bienestar animal y social son pilares fundamentales. (Navas, 2007)

Una alternativa para la sostenibilidad de la producción ganadera es el establecimiento de sistemas silvopastoriles, en los cuales se incorporan los árboles como elementos de producción de forraje para los rebaños y generan interacciones positivas entre el suelo, las pasturas y los animales. Los árboles aumentan la fertilidad del suelo a través del ciclaje de nutrientes; mejoran el balance hídrico; reducen la evaporación, así como también el estrés calórico en los animales a través de la producción de sombra, las emisiones de CO₂ al fijarlo

en el sistema, lo que permite diversificar la producción (madera, leña, frutos, entre otros) y la rentabilidad de la finca.

México es un país que por sus características edáficas, topográficas y climáticas, presenta una riqueza importante en recursos naturales, principalmente por su diversidad en especies vegetales; sin embargo, el uso y aprovechamiento de árboles forrajeros es limitado en las comunidades rurales, siendo necesario el estudio sobre el manejo y la adecuada utilización de estas especies, las cuales son fuente valiosa de alimento para el ganado y la fauna silvestre, sobre todo durante la época de sequía (Palma, 2005).

En la Península de Yucatán, México los productores cultivan y mantienen como una fuente segura y sostenible de forraje a los árboles que manejan bajo el sistema de corte y acarreo, el cual se caracteriza por cortar el follaje de los árboles, frecuentemente mayores a 4 m de altura, que se encuentran en los solares o lugares aledaños a sus unidades de producción (Lizágarra et al, 2001). Aunado a lo anterior las características climáticas de la región durante la época de sequía son extremas, por lo que los ganaderos acuden a fuentes alternativas para la alimentación de sus rebaños.

En este sentido el objetivo de esta investigación fue evaluar la composición química y el rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Guazuma ulmifolia* Lam., y *Moringa oleifera* Lam., asociadas y en monocultivo en un banco de forraje durante la temporada de lluvias y sequía.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en el área de agroecología del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, durante el periodo enero a diciembre 2009. La zona presenta un clima Aw_0 según la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), con una precipitación promedio anual de 953 mm, concentrándose de junio a octubre el 82 % de las precipitaciones. En la Figura 1, se muestra la precipitación (mm) y las temperaturas mínimas y máximas presentadas durante el periodo experimental.

La temperatura media anual es de 26,5 °C, siendo el mes de abril el más caluroso cuando se alcanzan temperaturas máximas de 38 °C y mínimas de 22,3 °C, el mes

más frío es diciembre, con una temperatura máxima de 29,2 °C y una mínima de 18,8 °C. La humedad relativa varía de 66 %, en el mes de abril, a 85 % en el mes de septiembre. Los suelos predominantes de esta zona son litosoles “tsek’el” -en nomenclatura maya- (Bautista, *et al*, 2005)

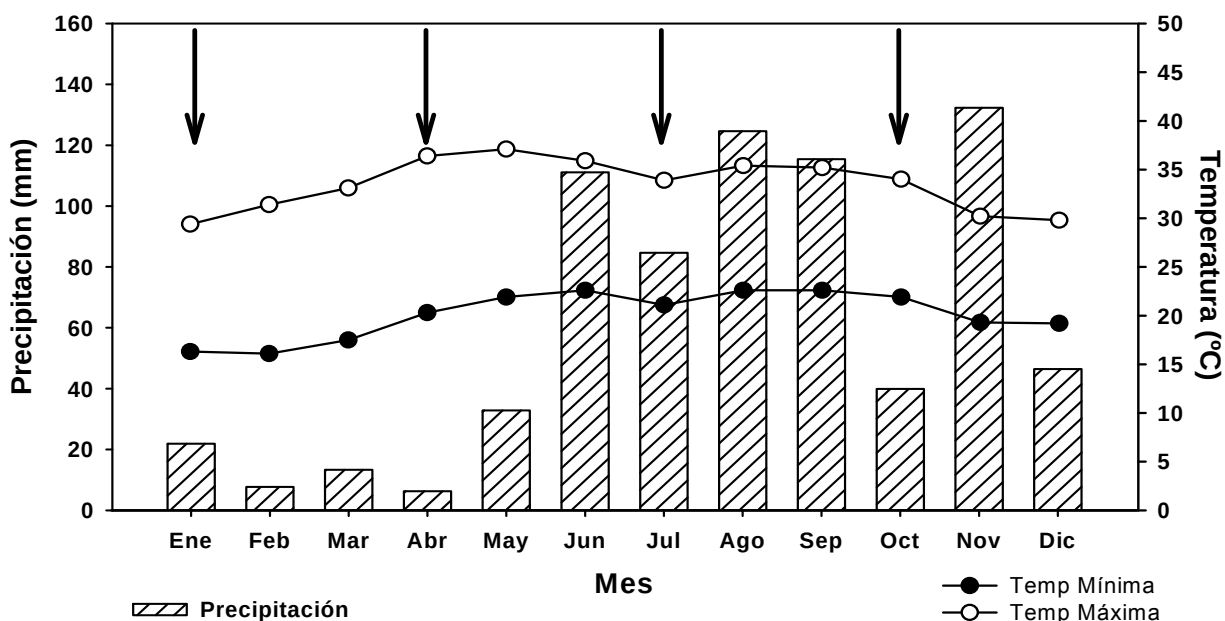


Figura 1. Precipitación y temperatura mínima y máxima registradas de enero a diciembre de 2009 en Yucatán. Las líneas (↓) indican los meses cuando se realizaron las cosechas de forraje (Fuente: CONAGUA, 2010).

El área experimental tiene una historia de uso como sistema de corte y acarreo de forraje, el cual ha estado operando durante siete años. Las podas que se realizan son totales, en las que se remueve la mayor parte de toda la biomasa foliar (>90 % del follaje), cuatro veces al año; dos podas en época de sequía y dos en época de lluvias (Solorio, 2005). Las unidades experimentales se encuentran arregladas en un diseño de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 4 bloques por tratamiento (Figura 2). Las plantas fueron establecidas por trasplante, cuando alcanzaron 30 cm de altura aproximadamente. En total se establecieron veinte parcelas (5 parcelas por bloque) de 10 x 20 m. con las especies *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Guazuma ulmifolia* Lam., y *Moringa oleifera* Lam., ya sea en monocultivo o asociadas entre sí, los cuales fueron plantados en hileras a lo largo de la parcela, con una separación entre hileras de 2 m y entre plantas de

0,5 m. La densidad de plantas para el sistema asociado fue del doble en comparación con el monocultivo (10.000 y 20.000 plantas ha⁻¹, respectivamente), aunque la densidad por especie fue constante (10.000 plantas ha⁻¹). Cada parcela consta de cinco hileras y solamente tres hileras se consideró la parcela útil. Así mismo, se realizaron deshierbes dos veces al año.

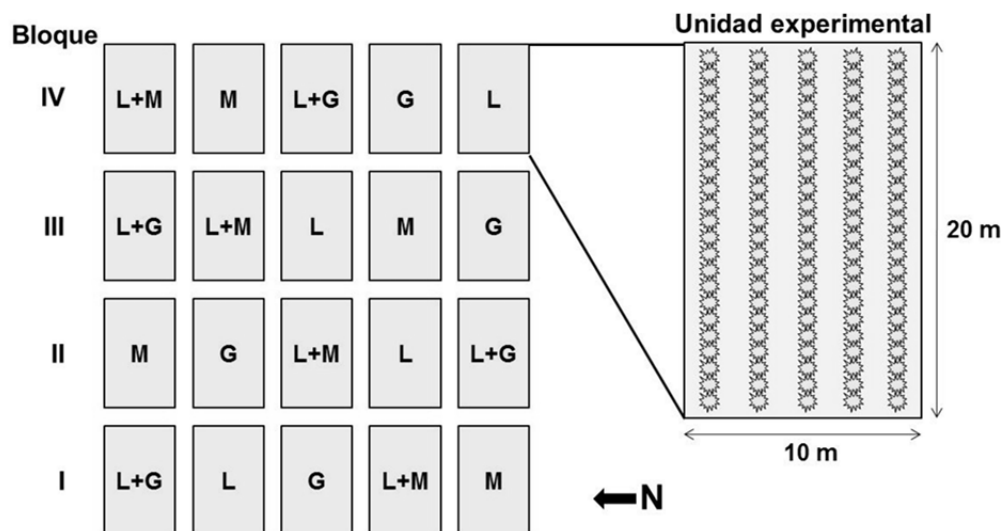


Figura 2. Arreglo experimental de las especies en estudio en el experimento. (L+M) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Moringa oleifera*; (L+G) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Guazuma ulmifolia*, (L) *Leucaena leucocephala* en monocultivo; (M) *Moringa oleifera* monocultivo y (G) *Guazuma ulmifolia* en monocultivo en Yucatán, México.

El Tabla 1, indica las características físicas y químicas del suelo en el área experimental, en donde se observa una alta pedregosidad (74%) y bajas proporciones de suelo (26%), que son limitantes físicas para la producción de forraje. Los contenidos de N (0,95%) y P (6,6 %) se consideran bajos, mientras el C (6,2%) es adecuado.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del suelo en el área experimental.

Elementos	
pH	7.8
Pedregosidad, %	74
Suelo, %	26
N, %	0.95
C, %	6.2
P %	6.6
Potencial de mineralización de N, mg kg ⁻¹	63
K intercambiable, mg kg ⁻¹	517
Ca intercambiable, mg kg ⁻¹	1086
Mg intercambiable, mg kg ⁻¹	345

La edad de los árboles del banco forrajero es de 7 años, para ello se realizó el conteo de sobrevivencia del ensayo y se determinó el tamaño de la muestra, mediante la fórmula de Scheaffer *et al.* (1993). Se seleccionaron en total 140 árboles y en cada unidad experimental se eligieron 5 árboles de cada especie cuando se hallaba en monocultivo y asociada, bajo el criterio de competencia completa.

A finales de enero y abril (época de sequía), julio y octubre (época de lluvias) se podaron los árboles a una altura de 1,0 m sobre el nivel del suelo, correspondiendo los dos primeros cortes a la época de sequía y los dos últimos a la época de lluvias. En cada corte, se cuantificó el rendimiento de forraje (t MS ha⁻¹) y se tomaron muestras 300 g de follaje, que fueron separadas en componentes: hoja, tallo comestible (≤ 5 mm) y tallo leñoso (> 5 mm). Posteriormente fueron secadas a 60 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta obtener un peso constante con la finalidad de cuantificar el contenido de materia seca (MS), la conformación del follaje y estimar el rendimiento de forraje en base seca.

En la variable de respuesta tallos leñosos se tomó la determinación de eliminar el tratamiento de *Moringa oleifera* Lam., ya que en la época de sequía no se registró ningún valor en esta variable.

Posteriormente las muestras de forraje (hojas y tallos comestibles) fueron molidas con ayuda de un molino eléctrico Thomas-Wiley® a un tamaño de partícula de 0,5 mm, y fueron llevadas a laboratorio para determinar el contenido de fibra detergente neutra (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA) por el método ANKOM

XT-10®. La fracción de carbono (C), el nitrógeno total (N) y la proteína cruda (PC), se estimó con ayuda del analizador elemental Leco CN 2000®. Con los datos de carbono y nitrógeno, se calculó relación C:N en el forraje cosechado de las especies arbóreas en monocultivo y asociadas.

Para el experimento se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones ($n=4$). Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) con arreglo factorial 2×5 , donde dos fueron las épocas de corte y los cinco tratamientos que están representados por las especies en monocultivo y asociadas entre sí. El programa estadístico utilizado fue Statgraphics® para Windows, versión 5.1. Se determinó si las variables eran diferentes entre épocas, tratamientos y la interacción entre ambos. Se realizó la transformación el logaritmo neperiano ($\ln$) para el rendimiento de forraje. Cuando se presentaron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Student al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSION

Componentes del follaje

En el Tabla 2, se observa que la proporción de hojas, tallos comestibles, leñosos y la relación hoja:tallo estuvo influenciada por la época del año con probabilidades que variaron de $P < F = 0,000$ a $0,004$. La mayor proporción de hojas se presentó en la época de sequía (69,4 %), así como también la mejor relación hoja:tallo (1,1), variable reviste gran importancia. puesto que en los sistemas de corte y acarreo, permite estimar la producción de follaje comestible y no comestible cuando la oferta de forraje es directa. en tanto que en la época de lluvia se registraron los mayores porcentajes de tallo tanto comestibles como leñosos (22,9 y 24,6 %, respectivamente).

En el análisis de los tratamientos (Tabla 3), se observaron diferencias estadísticas significativas entre las especies únicamente en la variable tallos comestibles ($P > F = 0,007$), donde la *M. oleífera* reportó el mayor porcentaje (26,2 %), en tanto que para las demás especies en monocultivo y asociadas se presentaron porcentajes estadísticamente iguales.

Tabla 2. Componentes del follaje por época del año en bancos forrajeros en Yucatán, México

Época	Componentes			
	Hoja (%)	Tallo comestible (%)	Tallo leñoso (%)	Relación hoja:tallo
Sequia	69.4 ^a	18.8 ^b	15.0 ^b	2.5 ^a
Lluvia	51.8 ^b	22.9 ^a	24.6 ^a	1.1 ^b
DMS_{0.05}	3.5	2.6	4.1	0.6
P>F	0.000	0.004	0.000	0.000

Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre cada época (P<0.05)

Tabla 3. Componentes del follaje por tratamientos de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleífera* por época del año, en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros en Yucatán, México

Tratamientos	Componentes			
	Hoja (%)	Tallo comestible (%)	Tallo leñoso (%)	Relación hoja:tallo
G	63.2	19.4 ^b	17.4	1.8
L	61.6	19.1 ^b	19.3	1.7
M	60.0	26.2 ^a	---	2.3
L +G	58.9	19.3 ^b	21.8	1.5
L +M	59.6	20.4 ^b	20.0	1.7
DMS_{0.05}		4.2		
P>F	0.503	0.007	0.542	0,063

L= *L. leucocephala* en monocultivo; G= *G. ulmifolia* en monocultivo; M= *M. oleífera* en monocultivo; L+G= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; L+M = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleífera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0.05)

De las variables de respuesta evaluadas sólo se observaron diferencias estadísticas significativas en la interacción entre épocas y tratamientos en el porcentaje de hojas (Tabla 4), donde *M. oleífera* obtuvo el mayor valor (76,2 %), seguido de *G. ulmifolia* (69,0 %), el tratamiento que registró el menor porcentaje fue la asociación de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (65,8 %). Mientras tanto en la época de lluvia la *M. oleífera* registró el menor porcentaje de hojas (43,2 %), mientras que *G. ulmifolia*, *L. leucocephala* y la asociación de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, reportan valores estadísticamente iguales (57,3, 56,3 y 52,0 %, para el orden indicado de las especies).

Al analizar el efecto de la época en cada uno de los tratamientos (Tabla 5), se determinó que todas las especies en monocultivo como en asociación se comportan en forma diferente en cada una de las épocas, específicamente en la variable de respuesta porcentaje de hojas que fue la única que presentó el efecto en la interacción entre épocas y tratamientos.

Tabla 4. Comportamiento de los tratamientos en cada época para los componentes del follaje de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros en Yucatán, México

Tratamientos	Componentes							
	Hoja (%)		Tallo comestible (%)		Tallo leñoso (%)		Relación hoja: tallo	
	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia
G	69.0 ^{ab}	57.3 ^a	18.6	20.3	12.4	22.4	2.3	1.4
L	66.9 ^b	56.3 ^a	17.7	20.4	15.4	23.3	2.0	1.3
M	76.2 ^a	43.2 ^b	23.8	28.6	-----	28.2	3.9	0.8
L + G	65.8 ^b	52.0 ^a	18.5	20.2	15.8	27.8	1.9	1.1
L + M	69.2 ^{ab}	50.0 ^{ab}	15.6	25.2	15.5	24.8	2.4	1.0
DMS_{0.05}	7.8	7.8						

L= *L. leucocephala* en monocultivo; **G**= *G. ulmifolia* en monocultivo; **M**= *M. oleifera* en monocultivo; **L+G**= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; **L+M** = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleifera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0.05)

Tabla 5. Efecto de la época en cada uno de los tratamientos para los componentes del follaje de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros en Yucatán, México

Tratamientos	Componentes							
	Hoja (%)		Tallo comestible (%)		Tallo leñoso (%)		Relación hoja: tallo	
	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia
G	69.0 ^a	57.3 ^b	18.6	20.3	12.4	22.4	2.3	1.4
L	66.9 ^a	56.3 ^b	17.7	20.4	15.4	23.3	2.0	1.3
M	76.2 ^a	43.2 ^b	23.8	28.6	---	28.2	3.9	0.8
L + G	65.8 ^a	52.0 ^b	18.5	20.2	15.8	27.8	1.9	1.1
L + M	69.2 ^a	50.0 ^c	15.6	25.2	15.5	24.8	2.4	1.0
DMS_{0.05}	7.8	7.8						

L= *L. leucocephala* en monocultivo; G= *G. ulmifolia* en monocultivo; M= *M. oleifera* en monocultivo; L+G= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; L+M = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleifera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0.05)

Estudios como el realizado por Lizárraga *et al* (2001) para Yucatán, indican relaciones hoja:tallo en *L. leucocephala* de 1,6 y Saavedra *et al* (1987) 2,6 y 1,6 para frecuencia de cortes de 98 y 143 días, respectivamente, para Minas Gerais (Brasil), resultados mayores comparados con los expresados en este trabajo. Mientras tanto Maya *et al* (2005) en el Valle del Cauca, Colombia, reportan valores de 10,5 en la relación hoja: tallo para *L. leucocephala* con frecuencia de cortes de 42 días. Por su parte, Casanova *et al* (2010) señalan para un banco de forraje de 6 años con podas trimestrales que la relación hoja: tallo para *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y ambas especies en asociación estuvo en el orden de 2,2, 2,7 y 2,4, respectivamente.

Por su parte Wagner y Colón (2007), en un estudio sobre alturas, frecuencia de corte en la relación hoja:tallo y rendimiento de *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebeck* en República Dominicana, encontraron diferencias significativas en relación hoja:tallo para *G. ulmifolia* con valores de 1,6 y 3,2 con frecuencias de corte de 60 y 75 días, manifestando que hay una tendencia mayor en esta relación a medida que aumenta la frecuencia de corte. Igualmente agregan que la cantidad de hojas producidas es un indicativo para estimar la

cantidad de forraje ofrecido y está relacionado con el consumo voluntario y la digestibilidad tal como lo señalan Lizárraga *et al* (2001), quienes indican una relación hoja:tallo para *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* de 1,4 y 1,6, respectivamente.

Algunos autores, tales como Latt *et al* (2000); Camacaro *et al* (2003) y Harmand, *et al* (2004), han reportado que después de la poda, la planta invierte mayor cantidad de recursos en producir nuevos tallos y hojas, lo que se refleja en una mayor relación de hojas y rebrotes tiernos y por ende en un forraje de mejor calidad. Por su parte Pezo e Ibrahim (1998) manifiestan que conforme se prolongan los intervalos entre podas, se obtienen tallos más gruesos y leñosos con altos niveles de lignina y el forraje puede considerarse de baja calidad.

Rendimiento de forraje

En la Figura 3 se presenta el rendimiento de forraje para la época de sequía y lluvia. En sequía se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$), *G. ulmifolia* en monocultivo produjo la mayor cosecha de forraje con 1,9 t MS/ha, seguido de *L. leucocephala* y *M. oleífera* con 1,5 t MS/ha y 1,1 t MS/ha, respectivamente. La asociación de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* tuvo la mayor producción (2,9 t MS/ha) en comparación con la asociación *L. leucocephala* con *M. oleífera* (1,0 t MS/ha). Por otra parte, en la época de lluvias también se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$) y el rendimiento del forraje fue mayor en todos los arreglos. En los monocultivos *G. ulmifolia* obtuvo el mayor rendimiento con 2,7 t MS/ha, seguido de *L. leucocephala* y *M. oleífera* con 1,6 t MS/ha y 1,4 t MS/ha, respectivamente. Asimismo, cuando *L. leucocephala* está asociada a *G. ulmifolia* se registró una alta producción de forraje del orden de 4,1 t MS/ha mientras que en la asociación *L. leucocephala* con *M. oleífera*, alcanzó 1,3 t MS/ha.

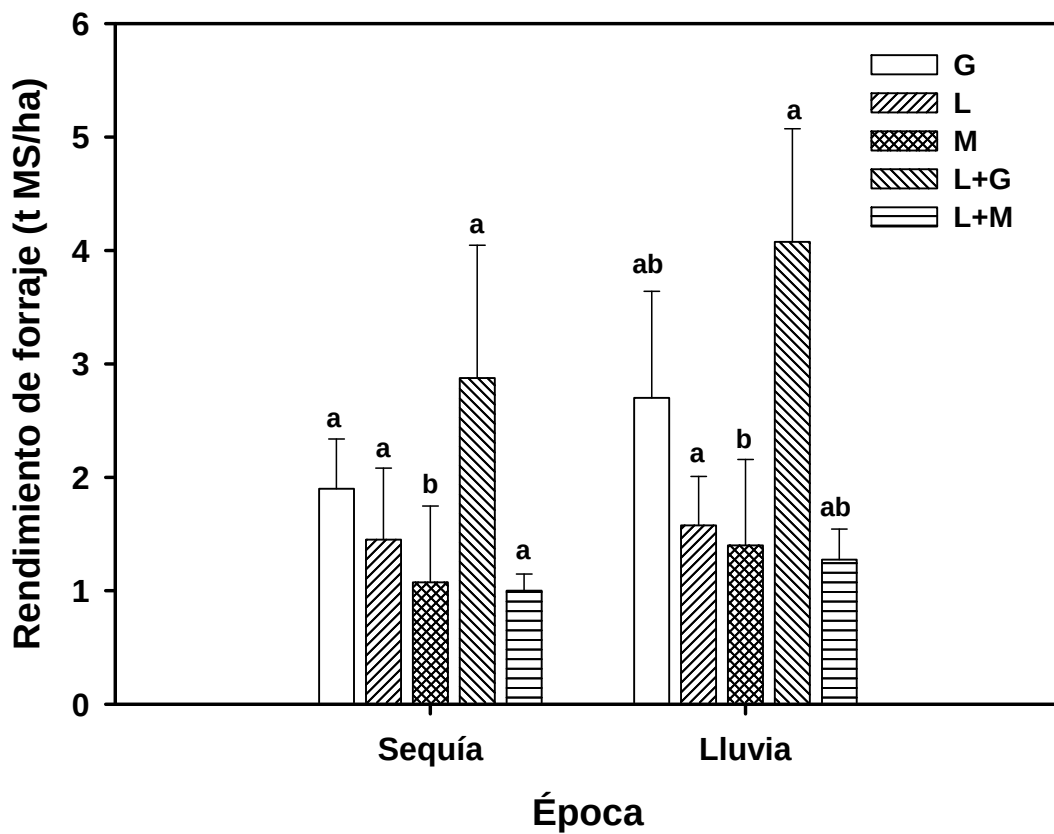


Figura 3. Producción de forraje acumulado de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros, podados a intervalos de 3 meses en Yucatán, México. Medias $\pm$ error estándar con literales distintas difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Sánchez et al. (2005), reportaron que el rendimiento de forraje de *L. leucocephala* al inicio y durante la época de sequía estuvo entre 0,6 y 1,4 t MS/ha y para el periodo de lluvias estuvo entre 0,7 y 1,4 t MS/ha. Estos rendimientos son menores que los obtenidos en este estudio y a los reportados en otras investigaciones por Francisco et al., (1997); Igualmente, Torres et al. (2002) obtuvieron rendimientos para *L. leucocephala* en densidades de 10.000 y 20.000 arb/ha, en el estado Trujillo, Venezuela de 2,4 t MS/ha para la temporada de sequía y 4,4 t MS/ha para el periodo de lluvias.

Por otro lado, Wagner y Colón (2007) indican que *G. ulmifolia* tuvo un rendimiento de 2, 2 t MS/ha en la temporada de lluvias. Llamas (2004) cuantificó el rendimiento de forraje en una cantera rehabilitada y reforestada ubicada al sur de la ciudad de Mérida, Yucatán con plantaciones de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebeck*, en densidades de 1.250 arb/ha y entre callejones pasto estrella (*C. nlemfuensis*), e indica valores para la temporada de lluvias entre 0,6 y 1.0 t MS/ha/año, para *L. leucocephala* y 0,9 y 1,7 t MS/ha/año para *G. ulmifolia*, igualmente en la época de sequía entre 0,27 y 2,7 t MS/ha/año para la primera y 0,07-0,18 t MS/ha/año para la segunda.

Moreno y Narváez (2005), en un estudio realizado en Nicaragua en dos podas en condiciones de clima tropical, reportan rendimientos de forraje de *M. oleifera* y *L. leucocephala* en monocultivo de 1,3 y 2,3 t MS/ha para la primera y de 1,3 y 3,9 t MS/ha para la segunda, valores ligeramente superiores comparados con los resultados del presente estudio.

La producción de forraje acumulada durante el año, fue estadísticamente significativa entre los tratamientos ($P \leq 0,05$), tal como se muestra en la Figura 4. *G. ulmifolia* en monocultivo logró la mayor producción (4,6 t MS/ha/año), seguida de *L. leucocephala* y *M. oleifera* con 3,0 t MS/ha/año y 2,5 t MS/ha/año, respectivamente. La asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* obtuvo la mayor producción (7,0 t MS/ha/año) y cuando está asociada con *M. oleifera* solamente produjo 2,3 t MS/ha/año. Comparando estos resultados con los trabajos realizados por Solorio (2005) y Reyes (2009), en el mismo banco de forraje se tiene que para *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* en monocultivo reportan valores superiores y

menores para *M. oleifera*, asimismo en las asociaciones Solorio (2005) indica 9,0 t MS/ha/año para *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, mientras que Reyes (2009) señala un valor de 7,1 t MS/ha/año, cantidad similar a la encontrada en esta investigación. Del mismo modo para la asociación de *L. leucocephala* con *M. oleifera*, los autores anteriormente mencionados señalan valores superiores de 5,9 y 5,0 t MS/ha/año, respectivamente. Es de hacer notar que los trabajos referenciados fueron realizados en los años 2003 el primero y 2008 el segundo, por lo que la edad de las plantas influye en la producción acumulada de forraje, igualmente el régimen de precipitaciones y temperaturas para el periodo de experimentación (ver Figura 1) no fue favorable para la producción de biomasa (Petit, et al., 2010)

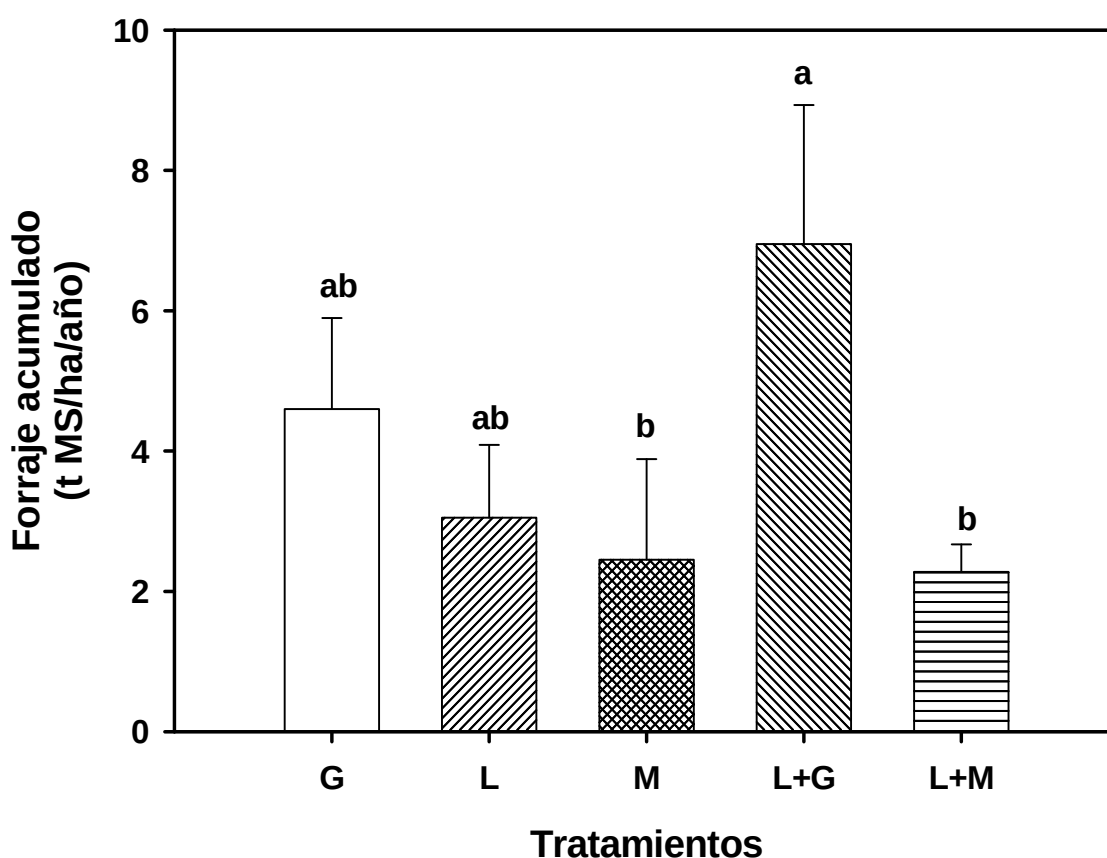


Figura 4. Producción de forraje acumulado de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros, podados a intervalos de 3 meses en Yucatán, México. Medias $\pm$ error estándar con literales distintas difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Es importante destacar que la asociación de especies leñosas puede incrementar el rendimiento y la calidad de forraje, sin embargo es fundamental detectar los efectos benéficos y perjudiciales entre los componentes, para minimizar la influencia de los efectos negativos en la productividad del sistema. Casanova *et al.* (2007) y Casanova *et al.* (2009), señalan que la asociación de especies leñosas actúa recíprocamente de muchas formas, desde una severa competencia, hasta la complementación y/o facilitación. Incluso, cuando se presenta competencia; puesto que ésta no es necesariamente negativa para el sistema en su totalidad, ya que pueden presentarse mejoras en el uso de los recursos del suelo.

Composición química del forraje

El follaje de arbustivas y arbóreas tropicales representa una fuente importante de nutrimentos para el ganado bovino en pastoreo de gramíneas tropicales. La composición química, digestibilidad y consumo del follaje de arbustivas y arbóreas son generalmente satisfactorios para su aprovechamiento por los rumiantes, aportando proteína en el rumen que favorece una rápida disponibilidad de nitrógeno para el crecimiento microbiano (Ramírez *et al.*, 2007).

En el Tabla 6, se puede observar la composición química del forraje por épocas del año, en el cual se detectaron diferencias estadísticas significativas en las variables de respuesta PC, FDN, FDA, C y en la relación C:N dichas diferencias no fueron registradas ($P < F_{0,055}$). Al mismo tiempo se distingue que en la época de lluvias se reportan los mayores valores en los contenidos de FDN, FDA, C, N y C:N (464,5, 360,0, 430,6, 28,5 y 15,9 g kg⁻¹, respectivamente); mientras que la mayor concentración de PC (177,9 g kg⁻¹) se registró en la época de sequía.

Del mismo modo en el Tabla 7 se reportan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados en las variables de respuesta PC, FDN, C y N ($P < F = 0,000$, en todos los casos) y en la interacción entre época y tratamientos para la variable de respuesta FDN ($P < F = 0,005$).

La PC se encontró en mayor concentración en los tratamientos *L. leucocephala* (195,1 g kg⁻¹), *L. leucocephala* con *M. oleífera* (186,3 g kg⁻¹) y *M. oleífera* (185,8 g kg⁻¹); los tratamientos con mayor contenido de FDN fueron *G. ulmifolia*, seguida de *L. leucocephala* asociada a *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* (479,3, 468,2 y 465,5 g

kg⁻¹, respectivamente). En cuanto al C el tratamiento que registró la mayor cantidad fue *L. leucocephala* (438,0 g kg⁻¹), en lo que respecta al N los mejores tratamientos fueron: *L. leucocephala*, *L. leucocephala* con *M. oleífera* y *M. oleífera* (31,2, 29,8 y 29,7 g kg⁻¹; respectivamente).

Tabla 6. Composición química del forraje por épocas del año de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleífera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros en Yucatán, México

Época	Composición química (g kg ⁻¹)					
	PC	FDN	FDA	C	N	Relación C:N
Sequia	177.9 ^a	417.7 ^b	290.4 ^b	424.3 ^b	26.3 ^b	12.3 ^a
Lluvia	164.0 ^a	464.5 ^a	360.2 ^a	430.5 ^a	28.5 ^a	15.9 ^a
DMS_{0.05}	14.0	9.08	19.7	2.6	2.2	-
P<F	0,049	0.000	0.001	0.000	0.045	0.055

Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre cada época (P<0.05)

Tabla 7. Composición química del forraje por tratamientos de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleífera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros en Yucatán, México

Tratamientos		Composición química (g kg ⁻¹)					
		PC	FDN	FDA	C	N	Relación C:N
G		124.2 ^c	479.3 ^a	327.9 ^a	428.2 ^{bc}	19.9 ^c	18.9 ^a
L		195.1 ^a	465.5 ^a	344.7 ^a	438.0 ^a	31.2 ^a	13.1 ^a
M		185.8 ^a	367.3 ^c	306.7 ^a	412.8 ^d	29.7 ^a	12.1 ^a
L +G		163.4 ^b	468.2 ^a	330.3 ^a	432.0 ^b	26.2 ^b	14.1 ^a
L +M		186.4 ^a	424.5 ^b	316.9 ^a	426.5 ^c	29.9 ^a	12.4 ^a
DMS_{0.05}		22.9	14.4	-	4.1	3.5	2.7
P<F	Tratamiento	0.000	0.000	0.159	0.000	0.000	0.132
	T x E	0.340	0.005	0.162	0.702	0.329	0.718

L= *L. leucocephala* en monocultivo; G= *G. ulmifolia* en monocultivo; M= *M. oleífera* en monocultivo; L+G= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; L+M = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleífera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0.05)

Tabla 8. Comportamiento de los tratamientos dentro de cada época para la composición química del follaje de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros en Yucatán, México

Tratamientos	Composición química (g kg ⁻¹)										
	PC		FDN		FDA		C		N		Relación C:N
	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	
G	127,0	121,4	471,9 ^a	487,6 ^b	286,1	369,8	425,2	431,2	20,3	19,4	15,0 22,7
L	178,1	212,0	426,9 ^c	504,1 ^a	299,8	389,6	434,6	441,2	28,5	33,9	13,1 13,1
M	183,4	188,3	348,2 ^e	386,5 ^d	296,7	316,7	408,1	417,4	29,3	30,1	10,3 13,9
L + G	159,0	167,7	441,6 ^b	494,7 ^{ab}	288,3	372,2	430,0	433,9	25,4	26,8	12,0 16,3
L + M	172,5	200,0	399,6 ^d	449,5 ^c	281,1	352,7	423,8	429,1	27,6	32,0	11,3 13,4
DMS _{0,05}	14.35		14.35								

L= *L. leucocephala* en monocultivo; G= *G. ulmifolia* en monocultivo; M= *M. oleifera* en monocultivo; L+G= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; L+M = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleifera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0.05)

Tabla 9. Efecto de la época en cada uno de los tratamientos para la composición química del follaje de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleífera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros en Yucatán, México

Tratamientos	Composición química (g kg ⁻¹)											
	PC				FDN				C			
	Sequía		Lluvia		Sequía		Lluvia		Sequía		Lluvia	
	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia
G	127,0	121,4	471,9 ^a	487,6 ^a	286,1	369,8	425,2	431,2	20,3	19,4	15,0	22,7
L	178,1	212,0	426,9 ^b	504,1 ^a	299,8	389,6	434,6	441,2	28,5	33,9	13,1	13,1
M	183,4	188,3	348,2 ^b	386,5 ^a	296,7	316,7	408,1	417,4	29,3	30,1	10,3	13,9
L + G	159,0	167,7	441,6 ^b	494,7 ^a	288,3	372,2	430,0	433,9	25,4	26,8	12,0	16,3
L + M	172,5	200,0	399,6 ^b	449,5 ^a	281,1	352,7	423,8	429,1	27,6	32,0	11,3	13,4
DMS _{0,05}	14.35				14.35							

L= *L. leucocephala* en monocultivo; G= *G. ulmifolia* en monocultivo; M= *M. oleífera* en monocultivo; L+G= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; L+M = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleífera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0.05)

De lo anterior se puede inferir que *L. leucocephala* es una especie que presenta una aceptable composición química con concentraciones que se reportan entre las más elevadas en las variables de respuesta anteriormente citadas, por lo que representa una buena opción para la oferta de esta especie como forraje en la cría de ganado.

Como se manifestó anteriormente la FDN fue la única variable que reportó interacción entre épocas y tratamientos al realizar el análisis del comportamiento de los tratamientos en cada una de las épocas evaluadas (Tabla 8), se determinó que en la temporada de sequía la mayor concentración FDN fue para *G. ulmifolia* (471,9 g kg⁻¹), mientras que en la época de lluvias *L. leucocephala* fue la que obtuvo la cantidad más alta (504.1 g kg⁻¹), ambas en monocultivo.

En la Tabla 9 se presenta el efecto de la época sobre los tratamientos donde se aprecia que *G. ulmifolia* tiene un comportamiento similar en las dos épocas, mientras que el resto de los tratamientos registran un comportamiento estadísticamente diferente, además se observa que en la época de lluvia todos los tratamiento reportan los mayores contenidos de FDN.

Chakeredza *et al.* (2007) indican que el contenido de PC, FDN y FDA para *L. leucocephala* fue de 252, 292 y 174 g/kg MS; mientras Shelton y Jones (1994) informan sobre valores promedios 228, 320 y 181 g/kg MS y Norton *et al* (1994) concentraciones de 190, 407 y 121 g/kg MS; igualmente Ramírez *et al* (2009) señalan 186, 346 y 182 g/kg MS. Estos valores comparados con los encontrados en este trabajo son superiores en cuanto a PC, pero menores en cuanto a FDN y FDA.

Para *G. ulmifolia*, Lizárraga *et al.* (2009) reportan para México contenidos de PC de 267 g/kg MS., inferior al señalado por Lucero (2009) en Colombia (86,4 g/kg MS) y López *et al* (2008) para el estado de Quintana Roo (137,8 g/kg) en México y al señalado por Wagner y Colón (2007) para República Dominicana (180 g/kg MS), que al compararlos con los encontrados en este trabajo están entre los rangos antes indicados. En cuanto a FDN y FDA los valores reportados por la literatura son similares a los aquí señalados por Lizárraga *et al*, 2009; Ramírez *et al*, 2007; Lucero, 2009 y Ku-Vera *et al*, 1999.

Asimismo para *M. oleífera* la literatura señala contenidos de PC, FDN y FDA reportados para países como Venezuela, Nicaragua, Brasil, India, entre otros, (García *et al*, 2006; García *et al*, 2008; Reyes *et al* 2006; Foild y Becker, 2001 y Ferreira *et al* 2008), los cuales concuerdan con los encontrados en este trabajo.

En cuanto a las asociaciones de *L. leucocephala* con *M. oleífera* y con *G. ulmifolia*, Solorio (2005) en un banco de forraje mixto, indica contenidos de PC, FDN y FDA para *L. leucocephala* asociada a *G. ulmifolia* de 160,455 y 305 g/kg MS y para cuando está asociada con *M. oleífera* de 180,425 y 300 g/kg MS, mientras Reyes (2009) para el mismo sistema señala 149, 471, 337 g/kg MS y 207, 386 y 288 g/kg MS para las mismas combinaciones, contenidos semejantes a los obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Generalmente las gramíneas presentan una marcada disminución del contenido PC cuando llegan a la madurez, mientras que las especies arbóreas logran mantener niveles adecuados inclusive en la época de sequía (Nyaata *et al.*, 1998; Ku-Vera *et al.*, 1999), también Flores *et al.* (1998) informan que las concentraciones de proteína de los árboles utilizados tradicionalmente en la alimentación de rumiantes presentan niveles de 12 a 30%, valores altos en comparación con pastos maduros que oscilan entre 3 y 10%.

En general todas las especies en monocultivo y en asociaciones tienen concentraciones de PC que pueden considerarse moderadas (121 a 200 g/kg MS), no obstante, cuando son analizadas sin tomar en consideración el consumo pueden ser mal interpretadas como aptas para la producción animal. Nieto-Marin *et al.* (2001) argumentan que los árboles forrajeros al tener una concentración aceptable de PC, se pueden utilizar como suplemento en la época de escasez. Sin embargo, esto tendría un valor limitado si no se toma en cuenta el comportamiento del animal como el principal evaluador de follajes.

La digestibilidad de los forrajes está muy relacionada con la proporción y grado de lignificación de las paredes celulares (FDN), así como la presencia de compuestos secundarios principalmente taninos (Norton 1994; Dzowella *et al.*, 1995). Las especies estudiadas en este trabajo tanto en monocultivo como en asociación mostraron valores de FDN dentro de rangos reportados para árboles forrajeros, no

obstante algunas pequeñas diferencias pueden ser debidas a la edad de los tejidos, al manejo y a las variaciones climáticas (López *et al.*, 2008). No obstante, estos valores son menores cuando se contrastan con la mayoría de las gramíneas tropicales, lo cual demuestra su calidad potencial (Rosales y Gil, 1997). Lo anterior implica que las gramíneas tienen más elementos estructurales cuando maduran (e.g. lignina, celulosa y hemicelulosa) que el follaje de los árboles y menor contenido de N, lo que les proporciona una ventaja sobre la digestibilidad, consumo de forraje y efecto sobre la producción animal (Van Soest, 1996). En este mismo sentido los valores de FDA estuvieron entre los rangos reportados para árboles productores de forraje, pero inferiores al compararlos con las gramíneas (Van Soest, 1982; Nandra *et al.*, 1993) En ambos casos la FDN y la FDA son afectadas por el estado de la planta, observando que a mayor madurez mayor contenido de FND y FDA, recíprocamente (Minson, 1990)

Las plantas asimilan el CO₂ de forma natural a través de la fotosíntesis. Las especies con un amplio sistema radicular, así como las plantas herbáceas y los árboles, almacenan gran cantidad de carbono orgánico tanto en la biomasa aérea como en la terrestre. El supuesto de que el 50% de la biomasa aérea es carbono, parece sólido y razonable (Hamburg, 2000; IPCC, 2001; Brown, 2002), Aunque, Laclau (2003), Bert y Danjon (2006) y Kirby y Potvin (2007), mencionan que el contenido varía entre especies y entre los diferentes componentes de la planta; y que generalmente es mayor en aquellos tejidos leñosos, asociados principalmente a los tejidos con mayor contenido de lignina (López *et al.*, 2008).

Alvarado *et al.* (2007), en un estudio sobre concentración de C y N a seis frecuencias de poda en *Gliricidia sepium* y *Erythrina sp*, reportan que el contenido de C para el follaje de estas especies fue de 440,4 y 433,8 g/kg MS, respectivamente, cuando los árboles fueron podados a 80 cm de la base del tallo. Por otro lado, Parrota (1999) informa que en plantaciones puras y mixtas (50:50) de dos especies fijadoras de N, *Casuarina equisetifolia* y *Leucaena leucocephala*, y una especie no fijadora, *Eucalyptus robusta*, señala concentraciones de C en follaje para las especies en monocultivo en el orden de 438 y 416 g/kg para las especies fijadoras de N, y 444 g/kg para *E. robusta*. Asimismo en las plantaciones

mixtas encontró lo siguiente: *C. equisetifolia* + *E. robusta* (437 g/kg); *C. equisetifolia* + *L. leucocephala* (434 g/kg) y *E. robusta* + *L. leucocephala* (443 g/kg), concentraciones similares a las reportadas en este trabajo, tanto para las especies en monocultivos como para las asociaciones.

Hernández *et al.* (2001) indican contenidos de N para *L. leucocephala* en la temporada de lluvias 36 y 35 g/kg MS y para la sequía 41 y 49 g/kg MS, valores ligeramente superiores a los reportados en este trabajo. No obstante, algunos estudios como los citados por Hove *et al.*, (2003) y Alvarado *et al.* (2007) publican que especies como *Acacia. angustissima*, *Calliandra calothyrsus*, *L. leucocephala*, *G. sepium* y *Erythrina* sp. tuvieron valores similares a los encontrados en el presente estudio con 29, 38, 40, 33 y 27 g/kg MS, respectivamente. Contrariamente, Ruiz y Febles (1987), indican que el contenido de N varía entre componentes de tal forma que el mayor contenido de N se encuentra en las hojas, seguido de los tallos tiernos, flores y en menor proporción en los tallos gruesos con valores de 48, 42, 38 y 21 g/kg MS, respectivamente para el caso de *L. leucocephala*

De igual forma, Solorio (2005) en un banco mixto de forraje señala contenidos de N para *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo de 37, 20 y 31 g/kg MS y para las asociaciones de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (30 g/kg MS) y con *M. oleifera* (33 g/kg MS) que comparados con los aquí reportados son mayores.

Rothe y Binkley (2001) expresan que pocos estudios han comparado las concentraciones de nutrimentos de mezcla de especies en plantaciones mixtas, a menudo sólo se mide N y P y en su mayoría sólo se considera la especie más valiosa. La tendencia general es que la concentración de nutrimentos en el follaje de los árboles en las mezclas puede ser mayor, igual o inferior en comparación con el monocultivo. Por ejemplo en una plantación mixta de 8 años de edad de *Eucalyptus saligna* y *Albizia falcataria* en Hawái, las concentraciones de N y P en los árboles de eucalipto estuvieron entre el 20 al 30% mayores que en las parcelas mixtas con 66% de *Albizia falcataria*. En contraste a esto Khanna (1997) señala que en un ensayo de plantaciones mixtas de *Eucalyptus globulus* y *Acacia*

mearnsii, el aumento en la disponibilidad de nutrimentos surgió a los 25 meses, cuando los incrementos en las concentraciones de N en el follaje senescente de *E. globulus* se produjo en las plantaciones mixtas en comparación con las plantaciones puras. Richards *et al.* (2010) explican que las concentraciones de N foliar aumentan significativamente en las mezclas que contienen especies fijadoras de N en comparación con los monocultivos, puesto que explican el potencial de altas tasas de fotosíntesis y una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

Petit *et al.* (2009), señalan que el asociar especies podría ser una estrategia para mejorar la fertilidad del suelo como es el caso de asociar especies fijadoras de N atmosférico con especies no leguminosas. Asimismo, Forrester *et al.* (2005) indica que la mezcla del follaje de especies de diferente calidad con una relación C:N baja puede favorecer la descomposición del follaje de otra especie de baja calidad, y adicionalmente fomentan significativamente el reciclaje de nutrimentos en sistemas de cultivos asociados.

Numerosos estudios reportan que la relación C:N, las concentraciones lignina y polifenoles de la planta controlan los factores del proceso de descomposición (Ball y Drake, 1997; Tian *et al.*, 1995; Valenzuela - Solano y Crohn, 2006). Estas disertaciones han demostrado que el material con un contenido de lignina bajo y alto en nitrógeno generalmente se descompone más rápido que el material con más lignina y menos nitrógeno. Asimismo, otros trabajos han señalado que la relación C:N explica la digestibilidad de los forrajes y determina el funcionamiento del rúmen, y por lo tanto; el nivel de producción de metano (Montenegro y Abarca, 2000). En este sentido los valores de la relación C:N reportados en este trabajo son intermedios por lo que se ratifica su potencialidad para la alimentación de los rebaños.

En general se puede inferir que las especies arbóreas poseen elementos de alto valor nutricional que ayudan a complementar la dieta de los animales además de utilizarse para satisfacer una amplia gama de objetivos productivos, ecológicos y económicos. Sin embargo, esto no sólo depende de las características de las especies, sino también en gran medida de los recursos disponibles del sitio, tales

como; luz, agua y nutrimentos del suelo, así como también del manejo del agroecosistema.

CONCLUSIONES

El follaje de las especies evaluadas en los diferentes tratamientos de esta investigación, estuvo conformado por 61 % de hojas, 21 % de tallos comestibles y 20 % de tallos leñosos lo que resulta en una relación hoja:tallo de 1.8 que estuvo influenciada por la época del año en las hojas, los tallos leñosos y en la relación hoja:tallo.

En el rendimiento de forraje fue mayor en la época de lluvias y en ambas épocas la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* produjo la mayor cosecha de forraje, con una producción acumulada de 7.0 t MS/ha/año

Por otra parte, los mayores contenidos de FDN, FDA, C, N y la mayor proporción C:N correspondieron a la temporada de lluvias, mientras que el mayor contenido de PC a la época de sequía. *L. leucocephala* en monocultivo fue la especie que mostró concentraciones aceptables de PC, FDA, FDN, C y N. Asimismo cuando esta misma especie está asociada a *G. ulmifolia* y con *M. oleifera* la concentración de nutrimentos en el forraje se conservan entre los rangos reportados.

Por lo que se concluye que la asociación de especies arbóreas utilizadas en este trabajo es un potencial valioso para la producción de forraje en las condiciones del trópico mexicano, puesto que es una alternativa para complementar la dieta de los rebaños en la época de carestía.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de los Andes de Mérida, Venezuela, financiadora de los estudios doctorales de la Prof.(a) Judith Petit Aldana, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y al personal técnico del área de forrajes del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la UADY.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO, M., RODRÍGUEZ, J. y CERRATO, M. 2007. Concentración de carbono y nitrógeno a seis frecuencias de poda en *Gliricidia sepium* Y *Erythrina* sp. *Tierra Tropical*. 3(2): 211-220.
- BALL, A. y DRAKE, B. 1997. Short-term decomposition of litter produced by plants grown in ambient and elevated atmospheric CO₂ concentrations. *Global Change Biol* 3:29–35
- BAUTISTA, F., PALMA-LÓPEZ, D. y HUCHIN-MALTA, W. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán, p. 105- 122. *En*: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 p.
- BERT, D. y DANJON, F. 2006. Carbon concentration variations in the roots stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.). *Forest Ecology and Management*. 222: 279-295.
- BROWN, S. 2002. Measuring, monitoring and verification of carbon benefits for forest-based Projects. *Philosophical Transactions, Royal Society of London: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 360(1797): 1669-1683.
- CAMACARO, S., BAUTE, N. y MACHADO, W. 2003. Efecto de la poda y el pastoreo sobre la producción de biomasa de *Gliricidia sepium*. *Zootecnia Tropical*. 21(4):399-412.
- CASANOVA, F., CAAMAL, M., SOLORIO, F. y CASTILLO, J. 2009. Comportamiento agronómico de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. 1er Congreso Internacional de Agronomía Tropical y 2do Simposio Nacional Agroalimentario [Versión electrónica en disco compacto]. Del 26 al 28 de agosto. Villahermosa, Tabasco, México.
- CASANOVA, F., RAMÍREZ, L. y SOLORIO, F. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 11 (3): 41-52.

- CASANOVA, F., RAMÍREZ, L. y SOLORIO, F. 2010. Effect of pruning interval on foliage and root biomass in forage tree species in monoculture and in association. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12: 33-41.
- CHAKEREDZA, S., HOVE, L., AKINNIFESI, F., FRANZEL, S., AJAYI, O. y SILESHI, G. 2007. Managing fodder trees as a solution to human–livestock food conflicts and their contribution to income generation for smallholder farmers in southern Africa. *Natural Resources Forum*. 31: 286-296.
- CONAGUA. 2010. Boletín meteorológico del estado de Yucatán. Consulta: 30 de mayo, 2010 de <http://www.conagua.gob.mx/OCPY07/Contenido/Documentos/BolEst.pdf>
- DZOWELLA, B., HOVE, L. y TOPPS, J. 1995 Nutritional and antinutritional characters and rumen degradability of dry matter and nitrogen for some tree species with potential for agroforestry in Zimbabwe. *Animal Feed Science and Technology* 55:207-214
- FERREIRA, P., FARIAS, D., OLIVEIRA, J. y CARVALHO, A. 2008. *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential. *Rev. Nutr.* [online]. vol.21, n.4, pp. 431-437.consultado 6 de Enero 2011 de www.scielo.br/scielo.php
- FLORES, O., BOLÍVAR, M., BOTERO, J. E IBRAHIM, M. 1998 Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajera para la suplementación de rumiantes en el trópico *Livestock Research for Rural Development* Vol. 10(1) Consulta 24 de diciembre de <http://www.fao.org/Ag/aga/AGAP/FRG/FEEDback/lrrd/lrrd10/1/cati101.htm>
- FORRESTER, D., BAUHUS, J. y COWIE, A. 2005. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globules* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology Management* 209:147-155
- FRANCISCO, G., SIMÓN, L. y SOCA, M. 1997. Efecto de tres alturas de corte en el rendimiento de biomasa de *Leucaena leucocephala* cv. Cnia-250. *Pastos y forrajes* 21 (4): 25 – 47.

- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. México, D.F.
- GARCÍA, L., CLAVERO, T., RAZZ, R., ESPARZA, D., MAVARES, O. y TERÁN, L. 1997. Efecto de diferentes láminas de riego sobre el crecimiento vegetativo de la *Leucaena leucocephala*. (Lam.) De Wit. *Rev. Fac. Agron.* 17: 78-89.
- GARCÍA, D., MEDINA, M., CLAVERO, T., COVA, L., DOMÍNGUEZ, J. y BALDIZÁN, A. 2008. Caracterización nutritiva del follaje de 6 especies forrajeras con énfasis en sus perfiles polifenólicos. *Revista Científica, FCV-LUZ*. Vol. XVIII, N° 2, 188-196.
- GARCÍA, D., MEDINA, M., DOMÍNGUEZ, C., BALDIZÁN, A., HUMBRÍA, J. y COVA, L. 2006. Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Trop.* 24(4), 401-415.
- HAMBURG, S. 2000. Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 5(1): 25-37.
- HARMAND, J., FORKONG, N., BERNHARD-REVERSAT, F. y PUIG, H. 2004. Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. *Forest Ecology and Management*. 188: 249-265.
- HERNÁNDEZ, I; SIMÓN, L. y DUQUESNE, P. 2001. Evaluación de las arbóreas *Albizia lebbbeck*, *Bauhinia purpurea* y *Leucaena leucocephala* asociadas con pasto bajo pastoreo. In Sánchez, M; Rosales, M. eds. *Agroforestería para la producción animal en América Latina II*. Roma, FAO. 343 p.
- HOVE, L., FRANZEL, S. y MOYO, P. 2003. Farmer experiences on the production and utilization of fodder trees in Zimbabwe. Constraints and opportunities for increased adoption. *Tropical Grasslands*, 37: 279–283.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2005. Special report on Carbon Dioxide Capture and Storage (Prepared by working group III of the IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York (USA). 442p

- KHANNA, P. 1997. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*. 94(1-3): 105-113.
- KIRBY, K. y POTVIN, C. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*. 246: 208-221.
- KÚ-VERA, J., RAMÍREZ, L., JIMÉNEZ, G., ALAYON, A. y RAMÍREZ, L. 1999. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico. *En*: Sánchez, M.D. y Rosales, M.M. (eds). *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Roma Italia. Pp. 231-258.
- LACLAU, P. 2003. Plant biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagonia plantation. *Forest Ecology and Management*. 173: 353-360.
- LATT, C., NAIR, P. y KANG, B.. 2000. Interaction among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Gliricidia sepium*, and *Leucaena leucocephala*. *Agroforestry Systems*. 50: 27-46.
- LIZÁRRAGA, H., SOLORIO, F. y SANDOVAL, C. 2001. Evaluación agronómica de especies arbóreas para la producción de forraje en la Península de Yucatán. *Livestock Research for Rural Development*. 13 (6) 1-10.
- LLAMAS, E. 2004. Rendimiento y calidad de forraje de árboles forrajeros en una cantera en Mérida, Yucatan, Mexico. Tesis de Maestro en Ciencias en manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Universidad Autonoma de Yucatan, Facultad de medicina veterinaria y Zootecnia. 109 p.
- LÓPEZ, M., RIVERA, J., ORTEGA, L., ESCOBEDO, J., MAGAÑA, M., SANGINÉS, J. y SIERRA, A. 2008. Contenido nutritivo y factores anti nutricionales de plantas nativas forrajeras del norte de Quintana Roo. *Técnica Pecuaria en México*. 46(2): 205-215.
- LUCERO, C. 2009. Evaluación agronómica de *G. ulmifolia* a dos densidades de siembra en sistemas silvopastoriles con *B arrecta*. Consulta: 30 de mayo, 2010 de <http://www.agronet.gov.co>

- MAYA, G., DURÁN, C. y ARARAT, J. 2005. Altura, disponibilidad de forraje y relación hoja tallo del pasto estrella solo y asociado con *Leucaena*. *Acta Agronómica*. 54(4).363-371.
- MINSON, D. 1990. Forage in ruminant nutrition. London: Academic Press, Inc.
- MONTENEGRO, J. y ABARCA, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE - FAO - SIDE. Ed Nuestra Tierra. 334 p.
- MORENO, J. y NARVÁEZ, O. 2005 Evaluación de la producción de forraje de *Moringa oleifera* (Lam), *Cnidioscolus aconitifolium* (Mill) L.M. Johnst y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit, para banco proteico en Pacora, San Francisco Libre. Tesis licenciatura. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 52 p.
- NANDRA, K, HENDRY, A. y DOBOS, R. 1993. Study of voluntary intake and digestibility of roughages in relation to their degradation characteristics and retention time in the rumen. *Anim Feed Sci Technol*. 43:227-237.
- NAVAS, A. 2007. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles *Revista ACOVEZ*, N° 106.15:26 Consulta 26 de diciembre 2010 de <http://www.acovez.org>
- NIETO-MARIN, C., MONFORTE-BRAGA, G., AYALA-BURGOS, A., RÍOS-ARJONA, G., SANDOVAL-CASTRO, C., RAMÍREZ- AVILÉS, L. y HOVELL-DEB, F. 2001 Short-Intake of six local forage trees in Yucatan, México to local zebu cattle (*Bos indicus*). *Proceedings of the Nutrition Society*. 60: 29
- NORTON, W .1994. Anti-nutritive and toxic factors in forage tree legumes. *In*: Gutteridge R C and Shelton H M, editors. *Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture*. Wallingford, G.B., CAB International. Consulta: 30 de diciembre, 2010 de <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/Guttshel/x5556e0j.htm#4.1> the nutritive value of tree legumes
- NORTON, W. 1994. The nutritive value of *Leucaena* species *In*: Gutteridge R C and Shelton H M, editors. *Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture*. Wallingford, G.B., CAB International Consulta: 30 de diciembre, 2010 de

<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/Gutt-shel/x5556e0j.htm#4.1>
the nutritive value of tree legumes

- NYAATA, O., O'NEIL, M., ROTHART, R. 1998. Comparison of *Leucaena leucocephala* with *Calliandra calothyrsus* in napier (*Pennisetum purpureum*) fodder banks. In: Shelton HM, Gutierrez RC, Mullen BF, Bray RA editors. *Leucaena adaptation quality and farming systems*. Canberra: Australian Centre Internat Agric Res. ACT 2601. 257-260.
- PALMA, J. 2005. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. XIX Reunión de ALPA y XXXIII Reunión de la Asociación Mexicana de Producción Animal – AMPA. Tampico, México, 26-20 de octubre 2005. 95-104.
- PARROTTA, J. 1999. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 124 (1999) 45-77
- PETIT, J., CASANOVA, F. y SOLORIO, F. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrientes. *Agricultura Técnica en México*. 35 (11): 107-116.
- PETIT, J., CASANOVA, F., y SOLORIO, F. 2010. Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. *Revista Forestal Venezolana*. 54 (2)
- PEZO, D. e IBRAHIM, M. 1998. *Sistemas Silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 2. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ*. Turrialba, Costa Rica. 258 p.
- RAMÍREZ, L., KU-VERA, J. y ALAYÓN, J. 2007. Follaje de árboles y arbustos en los sistemas de producción bovina de doble propósito. *Arch. Latinoam. Prod. Anim*, 15(1). 251-264.
- RAMÍREZ, L., PETIT, J. y KU-VERA, J. 2009. Producción Ovina en sistemas agroforestales en el trópico. XIV Congreso Latinoamericano de Buiatría, 15-17 de septiembre de 2009, Lima-Perú. pp: 1-11

- REYES, J. 2009. Efecto de la edad de rebrote sobre el rendimiento, composición química y digestibilidad del forraje de árboles (monocultivos y asociados). Equiparabilidad de las técnicas *In vitro* e *In situ* para estimar la digestibilidad de la MS. Tesis Maestría en Producción Animal Tropical. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Facultad de Medicina Veterinaria. UADY. 57 p.
- RICHARDS, A., FORRESTER, D., BAUHUS, J. y SCHERER-LORENZEN, M. 2010. The influence of mixed tree plantations on the nutrition of individual species: a review. *Tree Physiology* Advance Access published May 14, 2010. *Tree Physiology*: 1-17. Consulta 22 de Mayo, 2010 de <http://treephys.oxfordjournals.org>
- ROSALES, M. y GIL, M. 1997. Tree mixtures within integrated farming systems. Second FAO Electronic Conference on Tropical Feeds Livestock Feed Resources within Integrated Farming Systems. 1-14.
- ROTHER, A., y BINKLEY, D. 2001. Nutritional interactions in mixed species forests: a synthesis. *Can. J. For. Res.* 31: 1855-1870
- RUIZ, T. y FEBLES, G. 1987. *Leucaena*, una opción para la alimentación bovina en el trópico y subtrópico. EDICA. La Habana, Cuba.
- SAAVEDRA, E., RODRÍGUEZ, N., DE SOUSA COSTA, N. 1987. Producción de forraje, valor nutritivo y consumo de *Leucaena leucocephala*. *Past Trop*, 9(2): 6-10.
- SÁNCHEZ, A., ROMERO, C., ARAQUE, C. y FLORES, R. 2005. Producción de materia seca de *Leucaena leucocephala* a diferentes edades de corte y épocas del año bajo un sistema de riego artesanal. *Zootecnia Tropical* 23 (1): 45- 62.
- SCHEAFFER, R., MENDENHALL, W. y OTT, J.L. 1993. Elementos de muestreo. Grupo Editorial Iberoamericana. México. 321 p.
- SHELTON, M. Y JONES, J. 1994. Opportunities and limitations in *Leucaena*. En Shelton H.M., C.M. Piggott y J.L. Brewbaker. (Eds). *Leucaena. Opportunities and Limitations*. ACIAR Proceedings Nº 57. Canberra,

Australia. pp. 16-23. Consulta 24 de diciembre 2010 de <http://aciarc.gov.au/publication/PR057> .

- SOLORIO, F. 2005. Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non/leguminous shrubs. Ph.D. Thesis. Institute of Atmospheric and Environment Science. Edinburgh, Scotland. 200 p.
- TIAN, G., BRUSSAARD, L. y KANG, B. 1995. Breakdown of plant residues with contrasting chemical-compositions under humid tropical conditions- effect of earthworms and millipedes. *Soil Biol Biochem* 27:277–280
- TORRES, A., ZERPA, A. y ROMERO, R. 2002. Análisis fenológico cuantitativo, producción de biomasa y efecto en la calidad de la leche bovina de dos modalidades de siembra de bancos de *Leucaena leucocephala* Lam de Wit. En la zona baja del Edo Trujillo. *Revista Científica*. Vol XII-Suplemento 2. 497-501.
- VALENZUELA-SOLANO, C. y CROHN, D. 2006. Are decomposition and N release from organic mulches determined mainly by their chemical composition? *Soil Biol Biochem* 38:377–384
- VAN SOEST, P. 1996. Nutritional ecology of the ruminant. 2a ed. Ithaca, NY, USA: Cornell University Press.
- WAGNER, B. y COLÓN, R. 2007. Alturas y frecuencias de corte en la relación hoja/tallo y rendimiento de Guazuma (*Guazuma ulmifolia*), piñón (*Gliricidia sepium*) y chacha (*Albizia lebbbeck*). *Proceedings of the 43rd Annual Meeting*. Caribbean Food Crops Society. September 16-22, 2007. pp.99-104.



01 /2011

Mérida, 21 de marzo de 2011

Profesora:
Judith Coromoto Petit Aldana
Ciudad.-

Estimada Profesora:

Ante todo reciba un cordial saludo. La presente tiene por finalidad dar respuesta a su solicitud con respecto a el artículo titulado: **"COMPOSICION QUIMICA y RENDIMIENTO DE FORRAJE DE Leucaena leucocephala, Guazuma ulmifolia y Moringa oleifera ASOCIADAS Y EN MONOCULTIVO EN YUCATAN, MEXICO"**, enviado a la Revista Forestal Latinoamericana.

Le informo que el Comité Editorial de la Revista Forestal Latinoamericana, recibió el artículo y se procederá a enviarlo a los árbitros para evaluación.

Siempre a sus gratas ordenes, se despide.

Atentamente,




Ernesto Arends
Director IFLA- Editor Responsable

EA/mess.

**VII. Artículo 3. Producción y calidad de hojarasca en bancos de forraje puros
y mixtos en Yucatán, México**



PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE HOJARASCA EN BANCOS DE FORRAJE PUROS Y MIXTOS EN YUCATÁN, MÉXICO

LITTERFALL PRODUCTION AND QUALITY IN PURE AND MIXED FODDER BANKS IN YUCATAN, MEXICO

Judith Petit-Aldana^{1*}; Fernando Casanova-Lugo²; Javier Solorio-Sánchez²; Luis Ramírez-Avilés²

¹Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, Venezuela
Correo-e: jcpetita@ula.ve (*Autor de correspondencia)

²Cuerpo Académico de Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

RESUMEN

Se evaluó la producción y la calidad de hojarasca en un banco de forraje puro y mixto de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam. en monocultivo y asociadas en la época de lluvias y sequía, en un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, en densidades de 10,000 y 20,000 plantas·ha⁻¹. En cada unidad experimental se instaló una malla colectora de hojarasca de 1.6 m² y la hojarasca se recolectó durante un año. Se registró el peso seco por tratamiento y época para determinar la fracción de N, C y P y la relación C:N. La producción mayor de hojarasca fue en lluvias, *L. leucocephala* en monocultivo y asociada con *G. ulmifolia* obtuvo mayor producción con 1,022 y 1,542 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹, respectivamente. *L. leucocephala* presentó las mayores contribuciones totales de N, C, y P con 22.0, 443.0 y 0.96 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹. *L. leucocephala* con *M. oleifera* aportó mayores cantidades de N y C (23.2 y 363.8 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹). El mayor aporte de fósforo fue para *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (0.74 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹), se concluye que la asociación de especies promueve una mayor producción de hojarasca y aporte de nutrimentos en comparación con los monocultivos.

Recibido: 12 de septiembre, 2009
Aceptado: 25 de octubre, 2010
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.09.066
<http://www.chapingo.mx/revistas>

PALABRAS CLAVE:

Agroforestería, bancos forrajeros, hojarasca, producción, calidad.

ABSTRACT

Litterfall production and quality in pure and mixed fodder banks of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Moringa oleifera* Lam. were evaluated during the rainy and dry season, using a completely randomized block design with five treatments and four replications in densities of 10,000 and 20,000 plants·ha⁻¹. In each experimental unit, a 1.6 m² litter mesh collector was installed, and the litterfall was collected throughout one year. Dry weight was recorded by treatment and seasons to determine the fraction of N, C and P and the C:N ratio. The highest litterfall production was in the rainy season. *L. leucocephala* in monoculture and intercropped with *G. ulmifolia* showed the highest production with 1,022 and 1,542 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹, respectively, and *L. leucocephala* had the highest total contributions of N, C, and P with 22.0, 443.0 and 0.96 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹. *L. leucocephala* with *M. oleifera* provided greater amounts of N and C (23.2 and 363.8 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹). The greatest input of phosphorous was by *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* (0.74 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹). It was concluded that the association of species promotes greater litter production and nutrient intake compared with monocultures.

KEY WORDS: Agroforestry, fodder banks, litterfall, production, quality.

INTRODUCCIÓN

La hojarasca es la acumulación de los residuos vegetales (e.g. hojas, tallos, frutos, etc.) sobre la superficie del suelo, que son sometidos a una serie de procesos interrelacionados que implican la ruptura, la transformación

INTRODUCTION

Litterfall is the accumulation of plant debris (e.g. leaves, stems, fruits, etc.) on the soil surface, which is subjected to a series of interrelated processes that involve decay, chemical transformation and the subsequent release

química y posterior liberación de minerales que constituye una importante fuente de nutrientes para las plantas (Crespo y Pérez, 1999).

Por otra parte, las especies fijadoras de nitrógeno son ampliamente reconocidas por sus propiedades para mejorar el suelo, hecho que es en parte vinculado a su capacidad para producir hojarasca rica en nitrógeno; sin embargo, se ha observado que el manejo tiene un efecto sobre la producción de hojarasca (Jamaludheenn y Kumar, 1999).

Las actividades de manejo tales como aclareos, podas y fertilización son importantes sobre todo en plantaciones forestales de alto valor. Por lo que respecta a los aclareos, Caldentey *et al.* (2001) reportaron que el flujo de hojarasca anual disminuyó en un 50 % dos años después de efectuar un raleo en un sistema silvicultural bajo cubierta en la que el 55 % del área basal inicial fue eliminada. No obstante, en sistemas agroforestales (SAF), es típico efectuar podas laterales al inicio de la siembra ya que los árboles podados por lo general producen menos hojarasca (Jamaludheenn y Kumar, 1999).

Por otra parte, la poda altera la periodicidad de la caída de las hojas, sobre todo si son cantidades importantes de biomasa foliar las que se eliminan en estas prácticas, aunque también proporciona un gran impulso al enriquecimiento de nutrientes por abono verde o forraje. Es notorio que los estudios de producción de hojarasca en bancos de forraje en la literatura son escasos y poco se conoce de la dinámica de la hojarasca producida por las especies leñosas en estos sistemas.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo consistió en estimar la producción y calidad de hojarasca en bancos de forraje de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam., asociadas y en monocultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el área de agroecología del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, durante el periodo mayo 2008 a abril 2009. La zona presenta un clima Aw_0 según la clasificación de Köppen modificada por García (2008), con una precipitación promedio anual de 953 mm, concentrándose de junio a octubre el 82 % de las precipitaciones. En la Figura 1, se muestra la precipitación (mm) y las temperaturas mínimas y máximas presentadas durante el periodo experimental, que va de mayo 2008 a abril 2009.

La temperatura media anual es de 26.5 °C, siendo el mes de abril el más caluroso donde se alcanzan temperaturas máximas de 38 °C y mínimas de 22.3 °C, el mes más frío es diciembre, con una temperatura máxima de

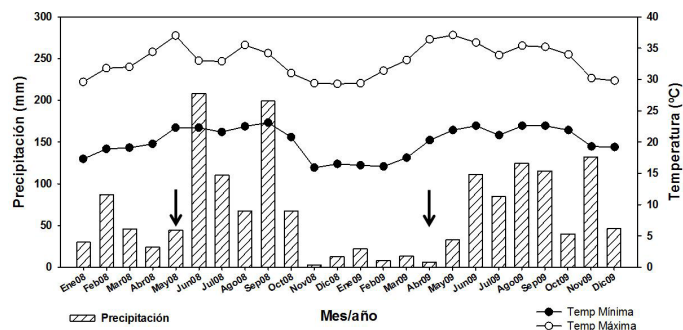


FIGURA 1. Precipitación, temperaturas máximas y mínimas en Mérida, Yucatán. Las flechas (↓) indican el periodo de muestreo. (Fuente: CONAGUA, 2010).

FIGURE 1. Precipitation, maximum and minimum temperatures in Mérida, Yucatán. The arrows (↓) indicate the sampling period. (Source: CONAGUA, 2010).

of minerals that are an important source of nutrients for plants (Crespo and Pérez, 1999).

Moreover, nitrogen-fixing species are widely recognized for their properties to improve the soil, a fact which is partly linked to their ability to produce nitrogen-rich litter. However, it has been observed that management has an effect on litter production (Jamaludheenn and Kumar, 1999).

Management activities such as thinning, pruning and fertilization are important especially in high-value forest plantations. With respect to thinning, Caldentey *et al.* (2001) reported that annual litterfall flux decreased by 50% two years after thinning in an under-cover silvicultural system in which 55% of the initial basal area was removed. However, in agroforestry systems (AFS), side pruning is typically performed early in the planting since pruned trees usually produce less litter (Jamaludheenn and Kumar, 1999).

Furthermore, pruning alters the frequency of leaf fall, especially if significant amounts of leaf biomass are eliminated in these practices, but it also provides a boost to the enrichment of nutrients by green manure or fodder. It is noteworthy that studies of fodder bank litter production in the literature are scarce and that little is known about the dynamics of litter produced by woody species in these systems.

Therefore, the objective of this study was to estimate litterfall production and quality in fodder banks of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Moringa oleifera* Lam., in an intercropping arrangement and in monoculture.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in the agroecology area of the Biological and Agricultural Sciences Campus of the Universidad Autónoma de Yucatán, during the period

29.2 °C y una mínima de 18.8 °C. La humedad relativa varía de 66 %, en el mes de abril, a 85 %, en el mes de septiembre. Los suelos predominantes de esta zona son litosoles “tsek’el” -en nomenclatura maya- (Bautista *et al.*, 2005).

El área experimental tiene una historia de uso como sistema de corte y acarreo de forraje, el cual ha estado operando durante siete años. Las podas que se realizan son totales, en las que se remueve la mayor parte de la biomasa foliar (>90 % del follaje), cuatro veces al año; dos podas en época seca y dos en época de lluvias (Solorio, 2005). Las unidades experimentales se encuentran arregladas en un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro réplicas por tratamiento (Figura 2). Las plantas fueron establecidas por trasplante, cuando alcanzaron 30 cm de altura aproximadamente. En total se establecieron veinte parcelas (cinco parcelas por bloque) de 10 x 20 m con las especies *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera*, ya sea en monocultivo o asociadas entre sí, las cuales fueron plantadas en hileras a lo largo de la parcela, con una separación entre hileras de 2 m y entre plantas de 0.5 m. La densidad de plantas para el sistema asociado fue del doble en comparación con el monocultivo (10,000 y 20,000 plantas·ha⁻¹, respectivamente), aunque la densidad por especie fue constante (10,000 plantas·ha⁻¹). Cada parcela consta de cinco hileras, donde solamente tres hileras se considera la parcela útil. Asimismo, se realizaron deshierbes dos veces al año.

El Cuadro 1, indica las características físicas y químicas del suelo en el área experimental, en donde se observa una alta pedregosidad (74 %) y bajas proporciones de suelo (26 %), que son limitantes físicas para la producción de forraje. Los contenidos de N (0.95 %) y P (6.6 %) se consideran bajos, mientras el C (6.2 %) es adecuado.

CUADRO 1. Propiedades físicas y químicas del suelo en el área experimental.

TABLE 1. Physical and chemical properties of the soil in the experimental area.

Elementos	
pH	7.8
Pedregosidad, %	74
Suelo, %	26
N, %	0.95
C, %	6.2
P, %	6.6
Potencial de mineralización de N, mg·kg ⁻¹	63
K intercambiable, mg·kg ⁻¹	517
Ca intercambiable, mg·kg ⁻¹	1086
Mg intercambiable, mg·kg ⁻¹	345

May 2008 to April 2009. The area has an Aw₀ climate, according to the Köppen classification system modified by García (2008), with average annual rainfall of 953 mm, concentrated from June to October when 82 % of the precipitation falls. Figure 1 shows the precipitation (mm) and minimum and maximum temperatures recorded during the experimental period from May 2008 to April 2009.

The average annual temperature is 26.5 °C, with April being the hottest month when temperatures reach highs of 38 °C and lows of 22.3 °C. The coldest month is December, with a maximum temperature of 29.2 °C and a low of 18.8 °C. Relative humidity varies from 66 % in April to 85 % in September. The predominant soils in this area are lithosols, known as “tsek’el” in Mayan nomenclature (Bautista *et al.*, 2005).

The experimental area has a history of use as a cut-and-carry fodder system, which has been operating for seven years. Pruning is carried out in a complete manner, with most of the leaf biomass (>90% of the foliage) removed, four times a year, twice in the dry season and twice in the rainy season (Solorio, 2005). The experimental units are arranged in a completely randomized block design with five treatments and four replicates per treatment (Figure 2). The plants were transplanted into the area upon reaching approximately 30 cm in height. In all, twenty 10 x 20 m plots (five plots per block) were established with the species *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* and *Moringa oleifera*, either in monoculture or an intercropping arrangement. They were planted in lengthwise rows in the plot with 2-m spacing between rows and 0.5 m between plants. Plant density for the intercropping system was double that of the monoculture one (10,000 and 20,000 plants·ha⁻¹, respectively), although species density was

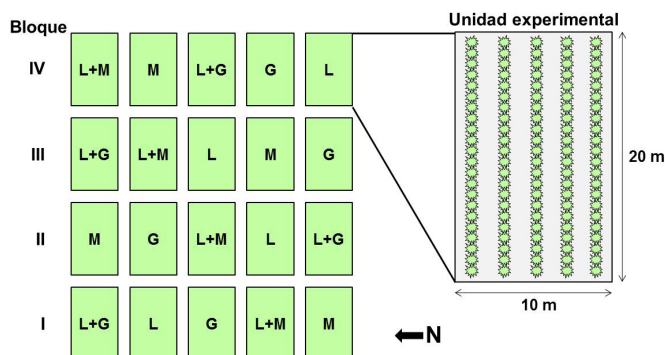


Figura 2. Arreglo experimental de las especies en estudio en el experimento. (L+M) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Moringa oleifera*; (L+G) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Guazuma ulmifolia*; (L) *Leucaena leucocephala* en monocultivo; (M) *Moringa oleifera* monocultivo y (G) *Guazuma ulmifolia* en monocultivo en Yucatán, México.

Figure 2. Experimental arrangement of the species studied in the experiment. (L+M) *Leucaena leucocephala* in association with *Moringa oleifera*; (L+G) *Leucaena leucocephala* in association with *Guazuma ulmifolia*; (L) *Leucaena leucocephala* in monoculture; (M) *Moringa oleifera* monoculture and (G) *Guazuma ulmifolia* in monoculture in Yucatan, Mexico.

A finales de enero y abril (época de sequía), julio y octubre (época de lluvias) se podaron los árboles a una altura de 1.0 m sobre el nivel suelo, correspondiendo los dos primeros cortes a la época seca y los dos últimos a la época de lluvias. En cada corte, se cuantificó el rendimiento de forraje (kg MS·ha⁻¹).

En cada parcela se instaló una malla recolectora de hojarasca (trampas) de manera aleatoria, la cual abarcó cuatro plantas de manera continua (20 en total). Las trampas consistieron en rectángulos de madera de 1.6 m² (0.60 x 1.00 m), recubiertas con mallas de nylon de 1 mm de separación y se colocaron a 50 cm del suelo, para permitir la filtración del agua y la aireación del material (Vitousek, 1984).

La producción de hojarasca se recolectó quincenalmente, durante un año (2008-2009), dando un total de 48 recolecciones. El follaje recolectado de cada trampa fue separado previamente por especie y se descartó el material que no correspondía (hojas y pecíolos de otras especies diferentes a las consideradas en el experimento). Las muestras fueron secadas en estufa de circulación de aire forzado a 60 °C, por 48 horas y se determinó el peso seco de cada una, después fueron molidas en partículas menor de 0.5 mm. Posteriormente, las muestras fueron llevadas al laboratorio y se determinó el contenido de proteína cruda (PC) y la fracción de carbono (C) con ayuda del analizador elemental Leco CN 2000®; y el Fósforo (P) por cromatografía en un Cromatógrafo de Gases (Hewlett Packard 5890 serie II) con estos datos se calculó relación C:N en la hojarasca producida por las especies arbóreas en monocultivo y asociadas.

Los datos obtenidos se compararon mediante un análisis de varianza de acuerdo al diseño de bloques completos al azar con el programa Statgraphics® para Windows versión 5.1. Cuando se presentaron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de error Tipo I. Es de hacer notar que los datos de composición química no se analizaron estadísticamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica y producción de hojarasca

La dinámica mensual de la caída de hojarasca en el sistema se puede observar en la Figura 3, los mayores aportes fueron en el periodo de lluvias en los meses de junio y septiembre. Para el periodo de sequía (noviembre-abril) el mayor aporte ocurrió en el mes de diciembre.

Es evidente que la dinámica mensual de caída de hojarasca coincide con la reportada por diversos autores para ambientes tropicales (Kumar, 2008) explica que para la mayoría de las especies deciduas la caída de hojarasca

constant (10,000 plants·ha⁻¹). Each plot consists of five rows, where only three rows are considered useful plot. Also, weeding is done twice a year.

Table 1 shows the physical and chemical characteristics of the soil in the experimental area, where there is high stoniness content (74 %) and low proportions of soil (26%), which are physical limitations for fodder production. The contents of N (0.95 %) and P (6.6 %) are considered low, while C (6.2 %) is adequate.

In late January and April (dry season), July and October (rainy season), trees were pruned at a height of 1.0 m above ground level, the first two cuts corresponding to the dry season and the last two to the rainy season. In each cut, fodder production was measured (kg DM·ha⁻¹).

In each plot a litter mesh collector (traps) was installed randomly, which spanned four consecutive plants (20 in total). The traps consisted of 1.6 m² (0.60 x 1.00 m) wooden rectangles, covered with nylon mesh of 1 mm spacing and placed at 50 cm above the soil to allow water infiltration and aeration of the material (Vitousek, 1984).

Litterfall production was collected fortnightly for one year (2008-2009), giving a total of 48 collections. The leaves collected from each trap were first separated by species and the non-corresponding material (leaves and petioles of species other than those considered in the experiment) was discarded. The samples were dried in a forced air circulation oven at 60 °C for 48 hours and the dry weight of each one was determined, after which they were ground into particles of less than 0.5 mm. Subsequently, the samples were taken to the laboratory where the crude protein content (CP) and the fraction of carbon (C) were determined using a Leco CN2000® elemental analyzer, whereas phosphorus content (P) was determined by

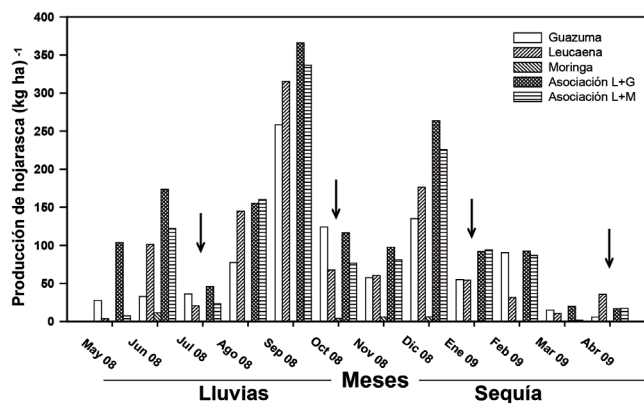


FIGURA 3. Dinámica mensual de la caída de hojarasca relacionada con los periodos de lluvias -sequía y el manejo del sistema. Las flechas (↓) indican la cosecha de follaje.

FIGURE 3. Monthly litterfall dynamics related to rainy-dry periods and management system. The arrows (↓) indicate the foliage harvest.

sigue un patrón de distribución unimodal, ya sea durante la estación seca o durante la temporada de lluvias. En algunos casos, sin embargo, coincide con los eventos de la precipitación máxima. También es importante destacar que el manejo del sistema influye en la producción de hojarasca, tal como lo reporta Jamaludheen y Kumar (1999). Se ha mencionado que la poda en *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, reduce la producción de hojarasca en un 40 % en comparación con sistemas sin podas. Esto es debido a que después de la poda, la planta invierte mayores recursos en producir tallos y hojas nuevas (Harmand *et al.*, 2004), por lo que las reservas de azúcares son reasignadas y los patrones de crecimiento de la planta (madurez y senescencia de las hojas) son modificados en gran medida (Casanova *et al.*, 2010).

En el análisis de la varianza se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre las épocas y las especies asociadas y en monocultivo en la producción de hojarasca tal como se muestra en el Cuadro 2.

En la época de lluvias, la mayor producción de hojarasca la obtuvo *L. leucocephala* (653.2 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹) y el menor *M. oleifera* (17.3 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹) ambas en monocultivo. En cuanto a las asociaciones, el mayor aporte de hojarasca correspondió a *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (960.5 kg MS·ha⁻¹) y el menor a la asociación *L. leucocephala* con *M. oleifera* (726.6 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹). En la Figura 4, se puede observar el aporte de cada especie en las asociaciones, se nota que *G. ulmifolia* aportó el 60 % de la hojarasca y *M. oleifera* el 14 %.

Para la época de sequía, se presentó la misma situación en los monocultivos y en las asociaciones. Mientras que en las asociaciones, la contribución de *G. ulmifolia* se mantiene, *M. oleifera* aporta un 36 % (Figura 4).

La mayor producción total anual correspondió a *L. leucocephala* en monocultivo y a la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* con valores de 1,022.1 y 1,542.7 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹, respectivamente.

Los estudios de producción de hojarasca en bancos de forraje en la literatura no se reportan o son escasos, por lo tanto se hacen comparaciones con trabajos realizados en sistemas similares y en árboles individuales.

Crespo *et al.* (2004), reportaron que la producción de hojarasca en pastizales con arbolados fue 73 % mayor que en pastizales sin árboles, e informan que *L. leucocephala* var. Perú asociada a *Panicum maximum* cv. Likoni y a *Cynodon nlemfuensis* cv. Jamaicano, estuvo en el rangos de 2,500 y 13,700 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹. También Sánchez *et al.* (2007) indican para *L. leucocephala* en un pastizal de *P. maximum* la producción de hojarasca de esta especie fue de 9,100 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹, datos que contrastan con los reportados por Alonso *et al.* (2003) en un estudio de comparación de métodos de poda en un

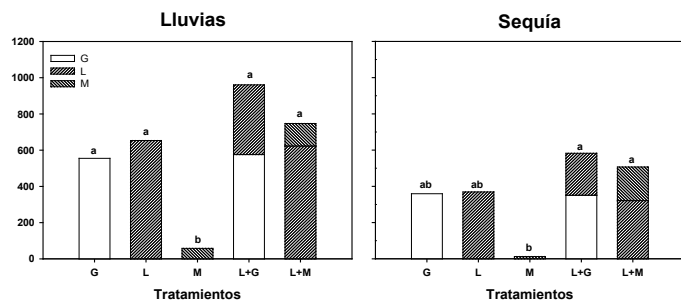


FIGURA 4. Producción de hojarasca en las épocas de lluvias y sequía de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($P \leq 0.05$)

FIGURE 4. Litterfall production in the rainy and dry seasons of fodder tree species in an intercropping arrangement and in monoculture in Yucatan, Mexico. Means followed by the same letter do not differ significantly ($P \leq 0.05$)

chromatography in a gas chromatograph (Hewlett Packard 5890 Series II). With this data, the C:N ratio was calculated in litter produced by the tree species in monoculture and intercropping.

The data obtained were compared using an analysis of variance according to the completely randomized block design with the Statgraphics® program for Windows version 5.1. When there were significant differences, Tukey's range test was applied at 5 % of Type 1 error. It should be noted that the chemical composition data were not statistically analyzed.

RESULTS AND DISCUSSION

Litterfall dynamics and production

The monthly dynamics of litterfall in the system can be seen in Figure 3. The greatest contributions were in the rainy season in the months of June and September. For the dry season (November-April), the greatest contribution was in December.

It is clear that the monthly litterfall dynamic coincides with that reported by other authors for tropical environments. Kumar (2008) explains that for most deciduous species, litterfall follows a unimodal distribution pattern in both the dry and rainy seasons. In some cases, however, it coincides with maximum precipitation events. It is also important to point out that the management system affects litter production, as reported by Jamaludheenn and Kumar (1999). It has been mentioned that pruning in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh reduces litter production by 40% compared to systems without pruning. This is because after pruning, the plant invests more resources towards producing new stems and leaves (Harmand *et al.*, 2004), so that sugar stocks are reassigned and plant growth patterns (leaf maturity and senescence) are greatly modified (Casanova *et al.*, 2010).

sistema silvopastoril (*L. leucocephala* y *P. maximum*), en que la producción de hojarasca estuvo entre 978.8 y 2,458 kg MS·ha⁻¹.

Por su parte, Jha y Prasad-Mohapatra (2010), reportaron la producción de hojarasca y raíces finas en árboles individuales, en la región semiárida de la India, indicando para *L. leucocephala* una producción de biomasa de 3,300 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹. En un estudio realizado en plantaciones forestales puras y mixtas en Puerto Rico, de *Casuarina equisetifolia* L.; *Eucalyptus robusta* S.m y *L. leucocephala* Parrota (1999), encontró que las especies en arreglos mixtos tuvieron tasas más altas de hojarasca que en los rodales monoespecíficos, para *L. leucocephala* en monocultivo la producción de hojarasca fue de 9,700 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y en las plantaciones mixtas de *L. leucocephala* con *E. robusta* y *C. equisetifolia* fue de 8,900 y 10,000 kg MS ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

Salako y Tian (2001) evaluaron la hojarasca de *L. leucocephala* en plantaciones sobre suelos degradados en Nigeria, encontraron una producción entre 8,783 a 10,049 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹. Sánchez *et al.* (2008) en un trabajo realizado en Ecuador, en parcelas experimentales permanentes de diez años de edad, determinaron la acumulación de hojarasca anual y la transferencia de nutrientes para *L. leucocephala*, con una producción de 3,404.8 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹.

Bonilla *et al.* (2008) indicaron para *G. ulmifolia*, en condiciones de bosque natural tuvo una producción de 1,180 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹ y destacan que la especie presentó una producción continua de hojarasca coincidiendo con los periodos de sequía y su valor máximo de producción fue el mes de marzo. Igualmente Lucero (2009) en un estudio de evaluación agronómica de *G. ulmifolia* en plantaciones a densidades de 277 y 625 árboles·ha⁻¹, obtiene 40 y 305 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹ de hojarasca.

Aunque el patrón general de producción de hojarasca es mayor en latitudes tropicales, esta afirmación es válida a gran escala, dicha relación es a menudo enmascarada por las variaciones dentro de las zonas. Por ejemplo, la diferencia de producción hojarasca anual en los trópicos fluctúa entre 1,022 a 14,500 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹, por lo que estas variaciones están influidas por la edad de la plantación, el área basal, las características de las especies y los factores edafoclimáticos. Como se puede observar la producción de hojarasca en el presente estudio para todas las especies tanto en monocultivo como asociadas, fue considerablemente menor a la reportada en la literatura citada anteriormente.

Composición química de la hojarasca

El Cuadro 3 muestra la composición química de la hojarasca, se observa que para el periodo de lluvias los

The analysis of variance revealed statistically significant differences ($P < 0.05$) between the seasons and the species in an intercropping arrangement and in monoculture in terms of litterfall production as shown in Table 1.

In the rainy season, the highest litterfall production was obtained by *L. leucocephala* (653.2 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹) and the lowest by *M. oleifera* (17.3 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹), both in monoculture. In terms of the associations, the highest litterfall was accounted for by *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* (960.5 kg DM·ha⁻¹) and the lowest by the *L. leucocephala*-*M. oleifera* association (726.6 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹). In Figure 4, one can observe the contribution of each species in the associations. It is noted that *G. ulmifolia* accounted for 60 % of the litter and *M. oleifera* 14 %.

For the dry season, the same situation occurred in monocultures and associations. While in the associations, the contribution of *G. ulmifolia* remains constant and *M. oleifera* provides 36 % (Figure 4).

L. leucocephala accounted for the highest annual total production in monoculture and the *L. leucocephala*-*G. ulmifolia* combination in an intercropping arrangement with values of 1,542.7 and 1,022.1 DM·ha⁻¹·yr⁻¹, respectively.

Studies of litterfall production in fodder banks are not reported in the literature or are scarce, thus necessitating comparisons to research work conducted in similar systems and on individual trees.

Crespo *et al.* (2004) reported that the production of leaf litter in wooded grasslands was 73 % higher than in treeless grasslands, and they further reported that *L. leucocephala* var. Perú associated with *Panicum maximum* cv. Likoni. and with *Cynodon nlemfuensis* cv. Jamaicano was in the range of 2,500 and 13,700 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹. Also, Sánchez *et al.* (2007) indicate that for *L. leucocephala* in a pasture of *P. maximum*, litter production of this species was 9,100 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹, data that contrast with those reported by Alonso *et al.* (2003) in a comparison study of pruning methods in a silvopastoral system (*L. leucocephala* and *P. maximum*) where litter production ranged between 978.8 and 2,458 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹.

Jha and Prasad-Mohapatra (2010) reported the production of litterfall and fine roots in individual trees in the semiarid region of India, with *L. leucocephala* biomass production being 3,300 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹. In a study conducted in pure and mixed forest plantations in Puerto Rico, consisting of *Casuarina equisetifolia* L., *Eucalyptus robusta* S.m and *L. leucocephala* Parrota (1999), it was found that species in mixed arrangements had higher litter rates than those in monospecific stands; for *L. leucocephala* in monoculture, litter production was 9,700 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹ while in mixed plantations of

CUADRO 2. Producción de hojarasca en kg MS ha⁻¹ de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México
TABLE 2. Litterfall production in kg DM ha⁻¹ of fodder tree species in intercropping arrangements and in monoculture in Yucatan, Mexico

Tratamiento	Época		Total
	Lluvias	Sequía	
<i>G. ulmifolia</i>	556.6 ± 31.3 ^a	359.2 ± 58.2 ^{ab}	915.8 ^{ab}
<i>L. leucocephala</i>	653.2 ± 76.7 ^a	368.9 ± 62.0 ^{ab}	1,022.1 ^a
<i>M. oleífera</i>	17.3 ± 12.2 ^b	12.3 ± 6.5 ^b	29.6 ^b
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	960.5 ± 74.1 ^a	582.3 ± 62.8 ^a	1,542.7 ^a
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleífera</i>	746.9 ± 225.7 ^a	506.6 ± 187.7 ^a	1,233.2 ^a
Promedio	582.8±84.6 ^A	365.9±58.6 ^B	

Medias ± error estándar seguidas por la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente. ($P \leq 0.05$). Las letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos y las mayúsculas entre épocas.

Means ± standard error followed by the same letter within a column do not differ significantly. ($P \leq 0.05$). The small letters indicate differences between treatments and the big letters between seasons.

contenidos de N en los monocultivos estuvieron en el rango de 2.3-1.2 %, correspondiendo a *L. leucocephala* el mayor valor, seguido de *M. oleífera* y *G. ulmifolia*. Por otra parte en las asociaciones el mayor contenido correspondió a *L. leucocephala* con *M. oleífera*.

Para la época de sequía los contenidos de N en los monocultivos y en las asociaciones fueron menores en un rango de 1.8-1.2 %. Asimismo, Los contenidos de P fueron equivalentes en la época de lluvias y sequía, el mayor contenido de fósforo (P) fue para *M. oleífera* (0.12 %) y el más bajo para *G. ulmifolia* (0.09 %).

Los contenidos de C para los monocultivos y asociaciones el periodo lluvioso fueron superiores a los de la época de

L. leucocephala with *E. robusta* and *C. equisetifolia* it was 8,900 and 10,000 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹, respectively.

Salako and Tian (2001) evaluated the litterfall of *L. leucocephala* plantations on degraded soils in Nigeria, reporting production of between 8,783 to 10,049 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹. Sanchez *et al.* (2008), in a study performed in Ecuador in permanent experimental plots of ten years of age, determined the annual litter accumulation and nutrient transfer for *L. leucocephala*, with production of 3,404.8 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹.

Bonilla *et al.* (2008) reported that *G. ulmifolia*, in natural forest conditions, had a production of 1,180 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹. They point out that the species showed continuous litterfall production coinciding with dry periods and its maximum production value was in March. Likewise, Lucero (2009) in an agronomic evaluation study of *G. ulmifolia* in planting densities of 277 and 625 trees·ha⁻¹, found that it obtained 40 and 305 kg DM·ha⁻¹·yr⁻¹ of litterfall.

Although the general pattern of litterfall production is higher in tropical latitudes, this statement is valid on a large scale. This relationship is often masked by variations within the zones. For example, the difference in annual litterfall production in the tropics ranges from 1,022 to 14,500 DM·ha⁻¹·yr⁻¹; these variations are influenced by plantation age, basal area, species characteristics and edafoclimatic factors. As can be seen, litterfall production in this study for all species, in both monoculture and intercropping arrangements, was significantly lower than that reported in the literature cited above.

Chemical composition of the litterfall

Table 3 shows the chemical composition of the litterfall. During the rainy season, the N content in the monocultures ranged from 2.3-1.2 %, with *L. leucocephala* having the highest value, followed by *M. oleífera* and *G. ulmifolia*. Moreover in the associations, *L. leucocephala* con *M. oleífera* accounted for the highest content.

For the dry season, the N content in the monocultures

Cuadro 3. Composición química de la hojarasca de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México.

Table 3. Litterfall chemical composition of fodder tree species in an intercropping arrangement and in monoculture in Yucatan, Mexico.

Tratamientos	Contenido (%)			Relación
	N	P	C	C:N
Lluvias				
<i>G. ulmifolia</i>	1.2	0.09	43	35
<i>L. leucocephala</i>	2.3	0.09	45	20
<i>M. oleífera</i>	2.0	0.12	44	22
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	2.1	0.09	44	21
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleífera</i>	3.1	0.07	47	15
Sequía				
<i>G. ulmifolia</i>	1.2	0.09	41	36
<i>L. leucocephala</i>	1.8	0.10	40	22
<i>M. oleífera</i>	1.4	0.12	40	29
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	1.4	0.09	41	29
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleífera</i>	1.7	0.06	40	24

N= nitrógeno; P= fósforo; C= carbono; C:N= relación carbono: nitrógeno.

sequía, con rangos de 47-43 y 40-41%, respectivamente. El valor mayor correspondió a *L. leucocephala* en monocultivo (45 %) y a la asociación *L. leucocephala* con *M. oleifera* (47 %), en el periodo de lluvias. Para la época de sequía, *G. ulmifolia*, obtuvo el valor mayor (41 %) en monocultivo, y asociada con *L. leucocephala* (41 %).

El nitrógeno (N) y fósforo (P) han sido reconocidos como los nutrimentos esenciales para la productividad en los ecosistemas naturales. Del mismo modo, Mafongoya *et al.* (1997) indicaron que la calidad de los nutrimentos se mide generalmente en términos de nitrógeno neto o patrones de mineralización de fósforo. En general, los materiales con concentraciones de nitrógeno superiores a $20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ son considerados de alta calidad, aunque esto, puede ser modificado por los altos contenidos de lignina y polifenoles. La definición de calidad de los nutrimentos, puede ser útil para distinguir entre N orgánico soluble y el N que se enlaza a la pared celular, sobre todo en el follaje. También los contenidos de fósforo superiores a $2.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, pueden considerarse de alta calidad.

Constantinides y Fownes (1994) reportan que en los árboles el contenido de N y P en la hojarasca es inferior al del follaje; por ejemplo, para *G. sepium*, *Azadirachta indica*, *Inga edulis*, *L. leucocephala*, entre otras especies, los valores de N y P en la hojarasca varían entre 1.62 a 0.77 % y los de P entre 0.12 a 0.02%. Por su parte, Sánchez *et al.* (2008) señalan para *L. leucocephala* 2.70 % N y 0.10 % P, para la época de sequía y 4.40 % N y 0.15 % P, en la temporada de lluvias, y Salako y Tian (2001) señalan valores que varían entre 0.43 y 2.43 % (N) y para P entre 0.02 y 0.07 %. El follaje verde, normalmente contiene de 20 a 30 % de C soluble, celulosa y hemicelulosa, lo que constituye del 30 al 70 % del C de la planta (12 a 30 % de material vegetal total). Estos componentes son polisacáridos estructurales de calidad intermedia, que son atacados por los organismos descomponedores después que los carbohidratos solubles se han agotado (Swift *et al.*, 1979).

Álvarez (2001) expresa que la relación C:N se ha considerado como un índice de calidad de la hojarasca que permite predecir la descomposición en el caso de que haya más concentración de C y muy poca de N en la hojarasca en descomposición, se producirá menos N disponible en el suelo que podrá ser inmovilizado por la microbiota desintegradora, y por lo tanto habrá menos N para ser asimilado por las plantas; por el contrario, con un índice más pequeño (> concentración de N), el N inmovilizado será menor y estará más disponible para las plantas.

Martín y Rivera (2004) exponen que las plantas con relación C:N alta (> 25) forman una cobertura estable por efecto de la caída de la hojarasca, que contribuye al incremento de materia orgánica y, por ende, mejoraran la estructura del suelo protegiéndolo del impacto de la lluvia y

and the associations were lower, ranging from 1.8-1.2 %. Also, P contents were similar in the rainy and dry season; the highest phosphorous (P) content was for *M. oleifera* (0.12 %) and the lowest for *G. ulmifolia* (0.09 %).

The C content for monocultures and intercropping arrangements in the rainy season were higher than in the dry season, with ranges of 47-43 and 40-41 %, respectively. The largest value corresponded to *L. leucocephala* in monoculture (45 %) and to the association *L. leucocephala* with *M. oleifera* (47 %) in the rainy season. For the dry season, *G. ulmifolia* obtained the highest value (41 %) in monoculture and in an intercropping arrangement with *L. leucocephala* (41 %).

Nitrogen (N) and phosphorus (P) have been recognized as essential nutrients for productivity in natural ecosystems. Similarly, Mafongoya *et al.* (1997) indicated that nutrient quality is usually measured in terms of net nitrogen or phosphorus mineralization patterns. In general, materials with nitrogen concentrations higher than $20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ are considered high quality, although this may be modified by high contents of lignin and polyphenols. The definition of nutrient quality can be useful to distinguish between soluble organic N and N that binds to the cell wall, especially in the foliage. Also, phosphorus content greater than $2.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ can be regarded as high quality.

Constantinides and Fownes (1994) report that in trees N and P content in the litterfall is less than that in the foliage; for example, for *G. sepium*, *Azadirachta indica*, *Inga edulis*, and *L. leucocephala*, among other species, N values in litterfall range from 1.62 to 0.77 % and P values from 0.12 to 0.02 %. Likewise, Sánchez *et al.* (2008) indicate that *L. leucocephala* had 2.70 % N and 0.10 % P in the dry season, and 4.40 % N and 0.15 % P in the rainy season, and Salako and Tian (2001) indicate values ranging from 0.43 to 2.43 % for N and from 0.02 to 0.07 % for P. Green foliage usually contains from 20 to 30% of soluble C, cellulose and hemicellulose, which constitutes 30 to 70 % of plant C (12 to 30 % of total plant material). These components are structural polysaccharides of intermediate quality, which are attacked by decay organisms after the soluble carbohydrates are exhausted (Swift *et al.*, 1979).

Alvarez (2001) states that the C:N ratio has been regarded as a litter quality index that allows predicting decomposition in cases where there is more C concentration and very little N in decomposing litter. In these instances, less available N will be produced in the soil that can be immobilized by decomposer microbiota, and therefore there will be less N to be assimilated by plants. By contrast, with a smaller index (> N concentration), immobilized N will be lower and more available to the plants.

Martin and Rivera (2004) argue that plants with a high C:N ratio (> 25) form a stable coverage due to the fall of

la radiación solar; además, favorece el desarrollo del sistema radical, la formación de nódulos y la fijación simbiótica del nitrógeno y refieren que en plantas con relación C:N menor que 25, la mineralización es más rápida.

En cuanto a la relación C:N, para el periodo lluvioso en los monocultivos, *G. ulmifolia* obtuvo el valor mayor (35) y *L. leucocephala* el menor (20), mientras que en las asociaciones estuvo en 21 para *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* y 15 con *M. oleifera*, mientras en la época de sequía, las especies en monocultivo y asociadas, los valores aumentaron, destacándose *M. oleifera* (29) y asociada con *L. leucocephala*. De manera general, en ambos casos los valores de esta relación estuvieron en rangos de altos a moderados, lo que indica que el arreglo de las especies en el ensayo proporciona un efecto benéfico, contribuyendo significativamente en el contenido de materia orgánica en el sistema.

En un estudio realizado en Costa Rica por Celentano *et al.* (2010) sobre dinámica de la hojarasca y nutrimentos en plantaciones mixtas (PM) de *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Excell y *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm intercaladas con dos especies fijadoras de nitrógeno (*Erythrina poeppigiana* (Walp.) O. F. Cook e *Inga edulis* Mart.), comparada con islas de árboles sembrados (I), un bosque secundario (BS), un área sin árboles (SA), encontró valores de la relación C:N de 20 (PM), 23 (I), 29 (BS) y 30 (SA) respectivamente, destaca que la calidad de la hojarasca en las parcelas medida por la concentración de nutrimentos y la proporción entre carbono y nutriente, es más alta en los bosques secundarios y está correlacionado a una mayor diversidad de especies, agrega que la hojarasca de calidad baja (concentración baja de nutrimentos y relaciones altas de carbono con los nutrimentos), retrasa la descomposición y los procesos de mineralización, lo que influye mucho en la tasa de descomposición afectando la disponibilidad de nutrimentos y el proceso de sucesión.

El contenido de nutrimentos en árboles depende de muchos factores, que comprenden las especies, partes de la planta, proporción de hojas y ramas, edad de los tejidos, frecuencia de aprovechamiento, el suelo y clima (Palm, 1995). Aunado a lo anterior, la fertilidad del suelo es el factor ambiental o de manejo más importante que afecta el contenido de nutrimentos en los tejidos vegetales, puesto que afecta la transferencia de N y P de la hojarasca y del follaje (Vitousek, 1984).

Retorno potencial de N, C y P a través de la hojarasca

En la Figura 5, se observa el aporte de N, C y P de los diferentes tratamientos en el periodo de estudio, en el análisis de la varianza se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre las especies

the leaf litter, which contributes to the increase in organic matter and, therefore, improves soil structure, shielding it from the impact of rainfall and solar radiation. It also favors root system development, nodule formation and symbiotic nitrogen fixation. Moreover, the authors reported that in plants with a C:N ratio less than 25, mineralization is faster.

In regards to the C:N ratio, for the rainy season in the monocultures, *G. ulmifolia* obtained the highest value (35) and *L. leucocephala* the lowest (20), while in the intercropping arrangements *L. leucocephala* had a value of 21 with *G. ulmifolia* and 15 with *M. oleifera*. While in the dry season, the species in monoculture and intercropping arrangements posted higher values, highlighted by *M. oleifera* (29) and intercropped with *L. leucocephala*. In general, in both cases the values of this relationship were in ranges from high to moderate, indicating that the arrangement of species in the trial provides a beneficial effect, contributing significantly to organic matter content in the system.

In a study conducted in Costa Rica by Celentano *et al.* (2010) on litterfall and nutrient dynamics in mixed plantations (MP) of *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Excell and *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm interspersed with two nitrogen-fixing species (*Erythrina poeppigiana* (Walp.) O. F. Cook and *Inga edulis* Mart.), compared with islands of planted trees (I), a secondary forest (SF), and a treeless area (TA), it found C:N ratios of 20 (MP), 23 (I), 29 (SF) and 30 (TA), respectively. The study stresses that the quality of the litter in the plots, as measured by the concentration of nutrients and the carbon to nutrient ratio, is higher in secondary forests and is correlated to a greater diversity of species, adding that low-quality litter (low concentration of nutrients and high carbon relationships with nutrients) slows decomposition and mineralization processes, which greatly influences the rate of decay and thus affects the availability of nutrients and the succession process.

Nutrient content in trees depends on many factors, including species, plant parts, proportion of leaves and branches, tissue age, frequency of use, soil and climate (Palm, 1995). In addition to this, soil fertility is the most important environmental or management factor affecting the nutrient content of plant tissues, since it affects the transfer of N and P from litter and foliage (Vitousek, 1984).

Potential return of N, C and P through litter

Figure 5 shows the contribution of N, C and P of the different treatments in the study period. In the analysis of variance, statistically significant differences ($P < 0.05$) were detected between the associated species and in monoculture.

For the rainy season, in the monocultures, *L. leucocephala* contributed the largest amount of N (15.2

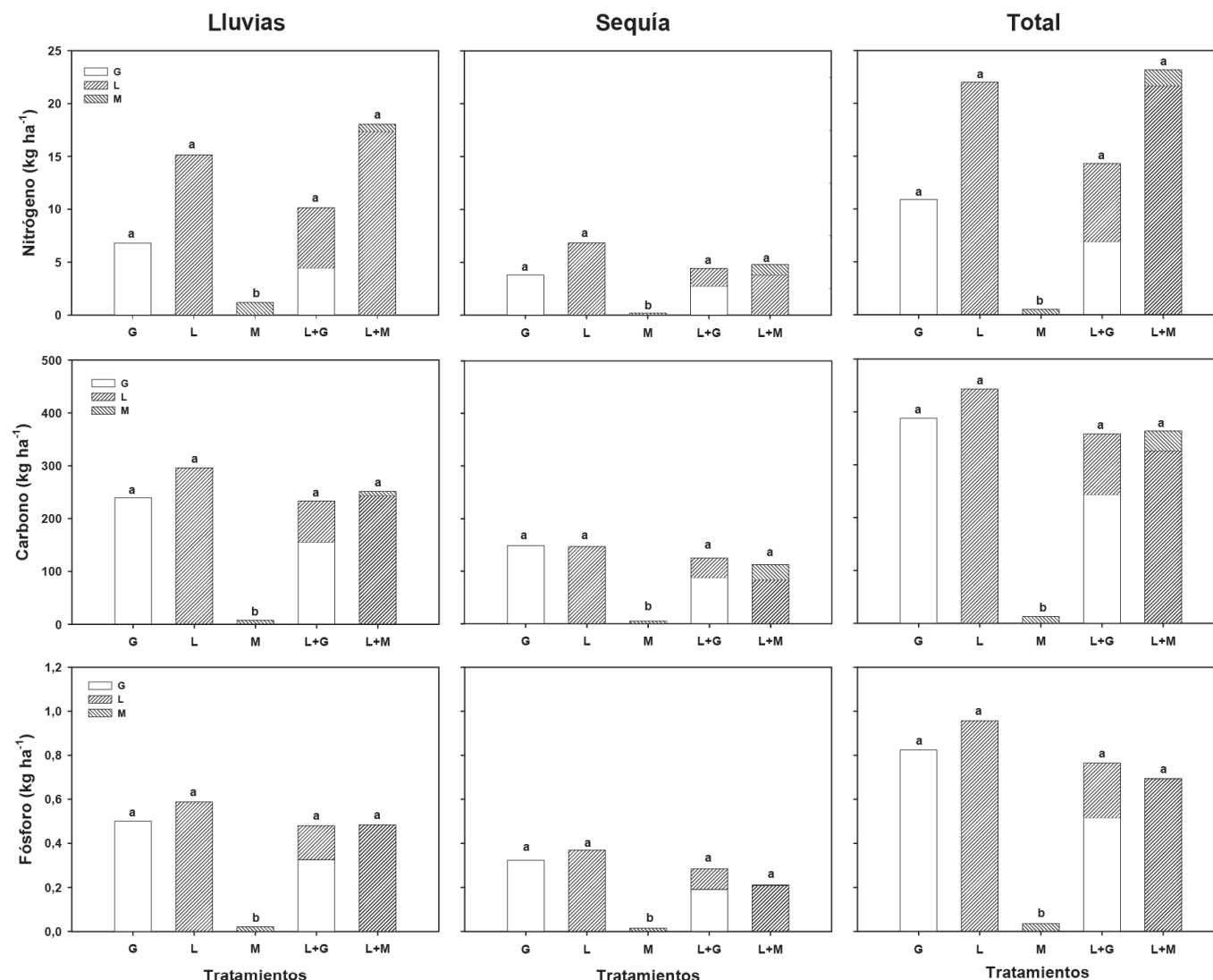


FIGURA 5. Aporte de nitrógeno, carbono y fósforo en la época de lluvias y sequía de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($P \leq 0.05$)

FIGURE 5. Contribution of nitrogen, carbon and phosphorus in the rainy and dry seasons of fodder tree species in intercropping arrangements and in monoculture in Yucatan, Mexico. Means followed by the same letter do not differ significantly ($P \leq 0.05$)

asociadas y en monocultivo.

Para el periodo de lluvias, en los monocultivos, *L. leucocephala* aportó la mayor cantidad de N ($15.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) y *M. oleifera* la menor ($1.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). En las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleifera* contribuyó con $18.0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Por otra parte, para la época de sequía los aportes disminuyeron notablemente, correspondiendo el valor mayor a *L. leucocephala* en monocultivo, seguida de *G. ulmifolia* y *M. oleifera* (6.8 , 4.1 y $0.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). En las asociaciones, la contribución N de *L. leucocephala* es superior en el periodo lluvioso del año y menor para las especies asociadas *G. ulmifolia* y *M. oleifera* (44 y 4 %, respectivamente). En la época de sequía, *G. ulmifolia* supera a *L. leucocephala* aportando 65 % de N. Finalmente, el mayor aporte anual correspondió a *L. leucocephala* y *M. oleifera* en asociación con $23.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ año, en el cual *L. leucocephala* contribuye con el 93 %.

$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) and *M. oleifera* the lowest ($1.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). In the intercropping arrangements, *L. leucocephala* with *M. oleifera* contributed $18.0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. On the other hand, for the dry season the contributions decreased significantly, with *L. leucocephala* in monoculture recording the highest value, followed by *G. ulmifolia* and *M. oleifera* (6.8 , 4.1 and $0.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). In the mixed plots, the N contribution of *L. leucocephala* is higher in the rainy season of the year and lower for the associated species *G. ulmifolia* and *M. oleifera* (44 and 4 %, respectively). In the dry season, *G. ulmifolia* surpasses *L. leucocephala*, contributing 65 % N. Finally, the largest annual contribution corresponded to the *L. leucocephala*-*M. oleifera* association with $23.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ yr, in which *L. leucocephala* contributes 93 %.

Carbon contributions in the rainy season were higher than those in the dry season. *L. leucocephala* contributed the most ($296.1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) in the rainy season and *G. ulmifolia*

Los aportes de carbono en periodo de lluvias fueron superiores a los de la época de sequía; *L. leucocephala* contribuyó con la mayor cantidad ($296.1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en la temporada de lluvias y *G. ulmifolia* $148.6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en la de sequía. En las asociaciones, *L. leucocephala* con *M. oleifera* produjo $233.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* $125.1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en lluvias y sequía, respectivamente. No obstante, se observa en la Figura 5, que la participación de *L. leucocephala* fue más del 70 % cuando estuvo asociada a *M. oleifera* en ambos periodos, de igual forma, *G. ulmifolia* también aportó entre 60 y 70 % de C, cuando está asociada. El aporte anual de C, de las especies en monocultivo fue para *L. leucocephala* con $443.0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y en asociación para *L. leucocephala* con *M. oleifera* con $363.8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y el aporte de la leguminosa a la asociación es del 90 %.

En cuanto al P, las contribuciones de las especies cuando están en monocultivo fueron superiores para la temporada de lluvia, correspondiendo a *L. leucocephala* el mayor valor ($0.59 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el menor para *M. oleifera* ($0.02 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para la época de sequía se repite la misma situación. En las asociaciones de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, esta última participó con más del 60 % del C. El mayor aporte anual de P de las especies en monocultivo correspondió a *L. leucocephala* ($0.96 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y a la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* ($0.77 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1} > 60 \%$).

Estos resultados contrastan con los presentados por Sánchez *et al.* (2008) en un trabajo realizado en Ecuador, en parcelas experimentales permanentes de 10 años de *L. leucocephala*, informa que la transferencia de N y P fue de 118.1 y $4.2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente. Igualmente, Jha y Prasad Mohapatra (2010), señalan para la misma especie en la India valores de 76.2 - 2.3 y 51.4 - $1.8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, que al compararlos con los resultados de este trabajo son superiores.

Binkley *et al.* (1992), reportan para plantaciones puras y mixtas de *Eucalyptus saligna* Sm. y *Albizia falcataria* (L.) Fosberg, de seis años de edad, que el aporte de N y P de la hojarasca osciló entre 35 - 3.5 y 240 - $9.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. De igual forma, Forrester *et al.* (2004) indican que en plantaciones puras y mixtas de *Eucalyptus globulus* Labill. y *Acacia mearnsii* De Wild. las tasas de ciclaje de N y P en hojarasca fueron significativamente superiores en las parcelas que contienen sólo el 25 % de *A. mearnsii*, en comparación con *E. globulus* en plantaciones puras. Incrementos similares en el ciclo de nutrimentos o en la disponibilidad de N y P de especies fijadoras de N han sido encontrados en otros estudios tanto en plantaciones y bosques nativos, incluyendo algunos rodales con mezcla de especies que contienen *Eucalyptus* (Binkley *et al.*, 2000; May y Attiwill, 2003). Es importante señalar que los aumentos en el ciclo del N y en la disponibilidad de plantas fijadoras de N, pueden influir en la disponibilidad de otros

($148.6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) in the dry one. In the associations, *L. leucocephala* with *M. oleifera* produced $233.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ and *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* obtained $125.1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ in the rainy and dry seasons, respectively. However, as seen in Figure 5, the *L. leucocephala* contribution was over 70 % when it was associated with *M. oleifera* in both periods. Likewise, *G. ulmifolia* also contributed between 60 and 70 % of C when it was in an intercropping arrangement. The annual C contribution of species in monoculture was $443.0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ for *L. leucocephala*, while in the associations it was $363.8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ for *L. leucocephala* with *M. oleifera*, and the contribution of the legume to the association is 90%.

As for P, the contributions of the species when in monoculture were higher for the rainy season, with *L. leucocephala* having the highest value ($0.59 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) and *M. oleifera* the lowest ($0.02 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). For the dry season the same situation is repeated. In the associations of *L. leucocephala* with *G. ulmifolia*, the latter participated with more than 60% of C. The greatest annual input of P of the species in monoculture corresponded to *L. leucocephala* ($0.96 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$) and the association *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* ($0.77 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1} > 60\%$).

These results contrast with those reported by Sánchez *et al.* (2008) in a study performed in Ecuador in permanent 10-year-old experimental plots of *L. leucocephala*. They report that the transfer of N and P was 118.1 and $4.2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, respectively. Similarly, Jha and Prasad Mohapatra (2010) indicate for the same species in India values of 76.2 - 2.3 and 51.4 - $1.8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, which are higher than the results of this work.

Binkley *et al.* (1992) report that for pure and mixed plantations of *Eucalyptus saligna* Sm. and *Albizia falcataria* (L.) Fosberg, of six years of age, that the litterfall contribution of N and P ranged between 35 - 3.5 and 240 - $9.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$. Similarly, Forrester *et al.* (2004) note that in pure and mixed plantations of *Eucalyptus globulus* Labill. and *Acacia mearnsii* De Wild. the N and P cycling rates in litterfall were significantly higher in plots containing only 25% *A. mearnsii*, compared with *E. globulus* in pure plantations. Similar increases in nutrient cycling or N and P availability in N-fixing species have been found in other studies, both in plantations and native forests, including some mixed-species stands containing *Eucalyptus* (Binkley *et al.*, 2000; May and Attiwill, 2003). It is important to note that increases in N cycling and the availability of N-fixing plants can influence the availability of other nutrients (Binkley *et al.*, 2000; Kaye *et al.*, 2000).

Rana *et al.* (2007) state in a study of the contribution of nutrients in forest plantations on sodic soils in northern India that the largest annual N input through litterfall corresponded to *C. equisetifolia*, *Eucalyptus* (hybrid), *L. leucocephala* and *Dalbergia sissoo* Roxb. (4.27 , 2.20 , 2.17 and $1.77 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$, respectively) and add that the contribution of P through litterfall was higher in *C. equisetifolia* with $0.77 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$.

nutrimentos (Binkley *et al.*, 2000; Kaye *et al.*, 2000).

Rana *et al.* (2007), expresan en un estudio del aporte de nutrientes en plantaciones forestales sobre suelos sódicos al norte de la India, que el mayor aporte de N anual a través de la hojarasca correspondió a *C. equisetifolia*, *Eucalyptus* (híbrido), *L. leucocephala* y *Dalbergia sissoo* Roxb. (4.27 g·m⁻²·año⁻¹, 2.20 g·m⁻²·año⁻¹, 2.17 g·m⁻²·año⁻¹ y 1.77 g·m⁻²·año⁻¹, respectivamente) y agregan que la contribución de P a través de la hojarasca fue mayor en *C. equisetifolia* con 0.77 g·m⁻²·año⁻¹.

Richards *et al.* (2010) informan que la producción de hojarasca y su posterior descomposición se vincula a los procesos que ocurren por encima y por debajo de suelo, los cuales determinan la productividad del árbol y del rodal; afirman que si las tasas de descomposición son constantes o aumentan, una producción mayor de hojarasca o cambios en el ritmo de las aportaciones en plantaciones mixtas podrían aumentar el suministro de nutrientes al suelo, en comparación con los monocultivos e ilustran con un ejemplo de un experimento en árboles tropicales, en el cual la producción de la madera y hojarasca sobre el suelo fueron superiores en las mezclas de tres especies que en sus correspondientes monocultivos, debido a que las interacciones interespecíficas influyen en el crecimiento y la captura de nutrientes mientras que las tasas de descomposición de hojarasca no fueron afectadas.

La hojarasca al igual que la biomasa aérea y radical es otro reservorio de carbono, constituye la vía de entrada principal de los nutrientes en el suelo, es esencial en el reciclado de la materia orgánica y los nutrientes (Sánchez *et al.*, 2008; Petit *et al.*, 2009).

Clark *et al.* (2001), refieren que el aporte de carbono por la hojarasca de los árboles para diferentes bosques del trópico seco oscila entre 0.9 y 6.0 t C·ha⁻¹. Igualmente, Casanova *et al.* (2010), informaron que la acumulación de C en hojarasca en un banco de forraje mixto de aproximadamente seis años de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* en Yucatán, estuvo en el rango de 0.9-1.6 t C·ha⁻¹, por su parte, Nair (2004), indica que los SAF generan efectos favorables al ambiente, puesto que las reservas de carbono pueden ser similares y en algunos casos mayores que los sistemas naturales.

En SAF en donde la sincronización de la liberación de los nutrientes y la asimilación de éstos por las plantas resultan de gran importancia en la productividad y sostenibilidad, estos temas han sido poco estudiados (Nair *et al.*, 1999).

La extracción de nutrientes como resultado de la cosecha, especialmente cuando el tiempo entre las rotaciones es corto, puede ser superior a la tasa de reposición de los minerales y los aportes de la atmósfera,

Richards *et al.* (2010) reported that litterfall production and its subsequent decay are linked to processes that occur above and below the ground, which determine the productivity of the tree and the stand. They say that if the decay rates are constant or increase, increased litterfall production or changes in the contribution rate in mixed plantations could increase the supply of nutrients to the soil, compared with monocultures, and they illustrate this point with the example of an experiment in tropical trees in which the production of wood and litter on the soil was higher in mixtures of three species than in their corresponding monocultures, because interspecific interactions influence growth and nutrient capture while litter decomposition rates were not affected.

The litterfall like shoot and root biomass is another reservoir of carbon, serving as the main gateway for nutrients to enter the soil, and it is essential in the recycling of organic matter and nutrients (Sánchez *et al.*, 2008; Petit *et al.*, 2009).

Clark *et al.* (2001) report that the carbon contribution by tree litterfall for different dry tropical forests ranges from 0.9 to 6.0 t C·ha⁻¹. Similarly, Casanova *et al.* (2010) reported that C accumulation in litterfall in an approximately six-year-old mixed fodder bank of *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* in Yucatan was in the range of 0.9-1.6 t C·ha⁻¹. Meanwhile, Nair (2004) indicates that agroforestry systems generate positive effects on the environment because carbon stocks may be similar and in some cases higher than those of natural systems.

Although in agroforestry systems the timing of the release of nutrients and their assimilation by plants are of great importance in terms of productivity and sustainability, these issues have been little studied (Nair *et al.*, 1999).

Nutrient removal as a result of harvesting, especially when the time between rotations is short, may be higher than the mineral replenishment rate and contributions from the atmosphere, which implies that the deterioration of the quality of the site is almost trivial. Moreover, the high temperatures characteristic of the tropics and increased global warming accelerate the oxidation of soil organic matter, so that the degradation of soils poor in nutrients occurs more rapidly in these areas. Consequently, there is uncertainty as to whether tropical agroforestry plantations could be grown continuously in the same place, without jeopardizing their vitality and productivity (Kumar, 2008).

CONCLUSIONS

The greatest amount of litterfall occurs in the rainy season. *L. leucocephala* in monoculture and intercropped with *G. ulmifolia* obtained the highest production with 1,022 and 1,542 kg·ha⁻¹·yr⁻¹, respectively.

lo que implica que el deterioro de la calidad del sitio es casi trivial. Por otra parte, las altas temperaturas características de los trópicos y el aumento en el calentamiento global aceleran la oxidación de la materia orgánica del suelo, por lo que la degradación de los suelos pobres en nutrientes ocurre más rápidamente en estas zonas. En consecuencia, surge la incertidumbre, de pensar, si las plantaciones tropicales agroforestales podrían cultivarse constantemente en el mismo sitio, sin poner en riesgo su vitalidad y productividad (Kumar, 2008).

CONCLUSIONES

La mayor cantidad de hojarasca ocurre en el periodo de lluvias, *L. leucocephala* en monocultivo y asociada con *G. ulmifolia* obtuvo la producción mayor con 1,022 y 1,542 kg · ha⁻¹ · año⁻¹, respectivamente.

Asimismo, la hojarasca de *L. leucocephala* en monocultivo presentó las mayores contribuciones de N, C, y P con 22.0, 443.0 y 0.96 kg · ha⁻¹ · año⁻¹. Mientras en las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleífera* aportó las mayores cantidades de N y C (23.2 y 363.8 kg · ha⁻¹ · año⁻¹), aunque *L. leucocephala* contribuyó con más del 90 % de estos elementos. El mayor aporte de fósforo correspondió a la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (0.77 kg · ha⁻¹ · año⁻¹), lo que constituye un aporte superior al 60 %.

La asociación de especies promueve una producción mayor de hojarasca y aporte de nutrientes en comparación con los monocultivos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de los Andes de Mérida, Venezuela, financiadora de los estudios doctorales de la Prof.(a) Judith Petit Aldana, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y al personal técnico del área de forrajes del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la UADY.

LITERATURA CITADA

- ALONSO, J.; RUIZ, T.; FEBLES, G.; ACHAN, G. 2003. Comparación de métodos de poda en un sistema silvopastoril *Leucaena guinea*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Tomo 37(4): 433-444.
- ÁLVAREZ, J. 2001. Descomposición y ciclo de nutrientes, en ecosistemas terrestres de México. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie) Núm. Es-1. 11-27
- BAUTISTA, F.; PALMA-LÓPEZ D.; HUCHIN-MALTA, W. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán, p. 105- 122. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 p.
- BINKLEY, D.; DUNKIN, K. A.; De BELL, D.; RYAN, M. G. 1992 Production and nutrient cycling in mixed plantations of *Eucalyptus* and *Albizia* in Hawaii. Forest Science 38: 393-408

Also, *L. leucocephala* litterfall in monoculture had the highest contributions of N, C, and P with 22.0, 443.0 and 0.96 kg · ha⁻¹ · yr⁻¹. While in the intercropping arrangements, *L. leucocephala* with *M. oleífera* contributed the largest amounts of N and C (23.2 and 363.8 kg · ha⁻¹ · yr⁻¹), although *L. leucocephala* contributed over 90% of these elements. The highest input of phosphorus was provided by *L. leucocephala* intercropped with *G. ulmifolia* (0.77 kg · ha⁻¹ · yr⁻¹), which constitutes a contribution of more than 60 %.

Intercropping promotes increased production of litterfall and nutrient intake compared with monocultures.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank the Universidad de los Andes in Mérida, Venezuela, which provided funding for Prof. Judith Petit Aldana's doctoral studies, the National Council of Science and Technology of Mexico, and the technical staff of the fodder area of the Biological and Agricultural Sciences Campus of UADY.

End of English Version

- BINKLEY, D.; GIARDINA, C.; BASHKIN, M. A. 2000. Soil phosphorous pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia facaltaria*. Forest. Ecology and Management. 128: 241- 247.
- BONILLA, R.; BELISARIO, J. J.; GARCÍA, T. 2008. Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, Cesar. Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 9(2): 5-11.
- CELENTANO, D.; ZAHAWI, R. A.; FINEGAN, B.; OSTERTAG, R.; COLE, R. J.; HOLL, K. D. 2010. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies in Costa Rica. Biotropica, Núm. doi: 10.1111/j.1744-7429.2010.00688.x
- CALDENTEY, J.; IBARRA, M.; HERNÁNDEZ, J. 2001. Litter fluxes and decomposition in *Northogagus pumilio* stands in the region of Magallanes, Chile. Forest Ecology and Management 148:145-157. doi: 10.1016/j.foreco.2005.05.051
- CASANOVA, L. F.; CAAMAL, M. J.; PETIT, A. J.; SOLORIO, S. F.; CASTILLO, C. J. 2010 Acumulación de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. Revista Forestal Venezolana 54 (1): 45-50
- CLARK, D. A.; BROWN, S.; KICKLINGHTER, D. W.; CHAMBERS, J. D.; THOMLINSON, J. R.; NI, J.; HOLLAND, E. A. 2001. Net primary production in tropical forest: An evaluation and synthesis of existing field data. Ecological Applications. 11(2):371-384.
- CONAGUA. 2010. Boletín meteorológico del estado de Yucatán. Consulta: 30 de mayo, 2010 de <http://www.conagua.gob.mx/OCPY07/Contenido/Documentos/BolEst.pdf>
- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J. H. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. Soil Biol. Biochem 26(1): 49-55.
- CRESPO, G.; PÉREZ, A. A. 1999. Significado de la hojarasca en el

- reciclaje de los nutrientes en los pastizales permanentes. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 33:349
- CRESPO, G.; LOK, S.; RODRÍGUEZ, I. 2004. Producción de hojarasca y retorno de N, P y K en dos pastizales que difieren en la composición de especies. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 38, Núm.1:97-101.
- FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; KHANNA, P. K., 2004. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*. 193: 81-95.
- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- HARMAND J. M.; FORKONG, N. C.; BERNHARD-REVERSAT, F.; PUIG, H. 2004. Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. *Forest Ecology and Management*. 188: 249-265. doi:10.1016/j.foreco.2003.07.026
- JAMALUDHEENN, V.; KUMAR, B. M 1999. Litter of nine multipurpose trees in Kerala, India: variations in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. *Forest Ecology and Management* 115: 1-11.
- JHA, P.; PRASAD-MOHAPATRA, K. 2010. Leaf litterfall, fine root production and turnover in four major tree species of the semi-arid region of India. *Plant Soil*. 326: 481-491. doi:10.1007/s11104-009-0027-9
- KAYE, J. P.; RESH, S. C.; KAYE, M. W.; CHIMMER, R. A. 2000. Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of *Eucalyptus* and *Albizia* trees. *Ecology* 81: 3267-3273.
- KUMAR, B. M. 2008. Litter dynamics in plantation and agroforestry systems of the tropics –A review of observations and methods. *In: Ecological basis of agroforestry*. Edited by Batish, Kumar, Shibu and Singh. C.R.C Press. London. Chapter 10: 181-216.
- LUCERO, C. 2009. Evaluación agronómica de *G. ulmifolia* a dos densidades de siembra en sistemas silvopastoriles con *B. arrecta*. Consulta: 30 de mayo, 2010 de <http://www.agronet.gov.co>
- MAFONGOYA, P. L.; GILLER, K. E.; PALM, C. A. 1998. Decomposition and nutrient release patterns of prunings and litter of agroforestry trees. *Agroforestry Systems* 38: 77–97
- MAFONGOYA, P. L, NAIR, P. K. R.; DZOWELA, B. H. 1997. Multipurpose tree prunings as a source of nitrogen to maize under semiarid conditions in Zimbabwe. 2. Nitrogen-recovery rates and crop growth as influenced by mixtures and prunings. *Agroforestry Systems* 35: 47–56
- MARTÍN, G.; RIVERA, R. 2004. Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos Tropicales*. 25(3): 89-96.
- MAY, B. M.; ATTIWILL, P. M. 2003. Nitrogen-fixation by *Acacia dealbata* and changes in soil properties 5 years after mechanical disturbance or slash-burning following timber harvest. *Forest Ecology and Management*. 181: 339–355. doi: 10.1016/s0378-1127(03)-00006-9
- NAIR, P. K. R.; BURESH, D. N.; MUGENDI, D. N.; LATT, C. R. 1999. Nutrient Cycling in tropical agroforestry systems: Myths and science. *In: Buck L. E., Lassoie J. P. and Fernandez E. C. M. (eds) Agroforestry in sustainable agricultural systems*. CRC Press, Lewis Publ., Boca Raton, FL.
- NAIR, P. K. R. 2004. Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. *In: Hillel, H., Rosenzweig, C., Powlson, D., Scow, K., Singer, M., and Sparks, D. (eds), Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, U.K. Pp. 35-44
- PALM, C. A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry systems*, 30: 105-124
- PARROTA, J. A. 1999. Productivity, nutrient cycling and succession in single and mixed species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta* and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 124 (1999) 45-77
- PETIT, A. J.; CASANOVA, L. F.; SOLORIO, S. F. J. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos. *Agricultura Técnica en México*. 35 (11): 107-116.
- RANA, B. S.; SAXENA, A. K.; RAO, O. P; SINGH, B. P. 2007. Nutrient return to the soil through litterfall under certain tree plantations on sodic wastelands in northern India *Journal of Tropical Forest Science* 19(3): 141–149
- RICHARDS, A.; FORRESTER, D.; BAUHUS, J.; SCHERER-LORENZEN, M. 2010. The influence of mixed tree plantations on the nutrition of individual species: a review. *Tree Physiology Advance Access published May 14, 2010. Tree Physiology*: 30 (9): 1192-1208. doi:10.1093/treephys/tpq035. Consulta 22 de mayo, 2010 de <http://treephys.oxfordjournals.org>
- SALAKO, F. K.; TIAN, G. 2001. Litter and biomass production from planted and natural fallows on a degraded soil in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems* 51: 239-251.
- SÁNCHEZ, C. S.; CRESPO, L. G; HERNÁNDEZ, C. M. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. *Pastos y Forrajes*, Vol. 30, Num. 3, 357-371.
- SÁNCHEZ, C.; LAMA, D.; SUANTUNCE, P. 2008. Hojas caídas y aporte de nutrientes de diez especies forestales tropicales. *Ciencia y Tecnología* 1(2): 73-78.
- SOLORIO, S. F. J. 2005. Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non/leguminous shrubs. PhD Thesis, Institute of Atmospheric and Environment Science. Edinburgh, Scotland. 200 p.
- SWIFT, M. J.; HEAL, O. W; ANDERSON, J. M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkeley. 372 p.
- VITOUSEK P. M. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65: 285–298

**V. Artículo 4. Dinámica de descomposición y liberación de nutrimentos en
hojas de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en un
banco mixto de forraje**

Dinámica de descomposición y liberación de nutrimentos en hojas de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en un banco mixto de forraje

Decomposition and nutrient release dynamic of leaves of *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* and *Moringa oleifera* in a mixed fodder bank

Judith Petit-Aldana^{1, 3}, Gabriel Uribe-Valle², Fernando Casanova-Lugo³, Javier Solorio-Sánchez³ y Luis Ramírez-Avilés³

e-mail: jcpetita@ula.ve

¹Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.

Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, Venezuela

² Investigador Titular C. (Jubilado) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP). km 21, Antigua Carretera Mérida-Motul. Mocochoá, Yucatán, México.

³ Cuerpo Académico de Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

Resumen

Se evaluó la dinámica de la descomposición y liberación de nutrimentos en hojas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam. en un banco mixto de forraje en Yucatán, México durante la época de lluvias y sequía, en un, en un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, en densidades de 10000 y 20000 plantas ha⁻¹. Se llenaron 120 bolsas (litterbags) con hojas frescas de las especies colectadas de las podas, y se colocaron semi-enterradas en cada unidad experimental. Se evaluaron tres periodos de incubación para cada tratamiento: 4, 8, y 16 semanas por cada época. Se determinaron las fracciones de N y C. A finales del experimento se observó que el proceso de descomposición fue más rápido en la

Artículo sometido a arbitraje en la Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México. Elaborado de acuerdo a la norma editorial de la revista.

temporada de lluvias. La pérdida de peso, la liberación de N y MO fue más acelerada en *Moringa oleifera* en monocultivo y en la asociación *L. leucocephala* con *M. oleifera*. Los patrones de descomposición de todas las especies siguieron el modelo exponencial simple, con más del 80% de la masa inicial incorporada al final del periodo de estudio. Se concluye que *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en monocultivo y asociadas, demostraron su capacidad para producir considerables cantidades materia orgánica y liberar importantes cantidades de N en cortos períodos de tiempo.

Palabras clave: Agroforestería, bancos forrajeros, descomposición, química del follaje, nitrógeno, materia orgánica.

Abstract

The dynamics of decomposition and nutrient release in leaves of *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Moringa oleifera* Lam in a mixed fodder bank in monoculture and intercropping arrangement, during the rainy and dry season were evaluated. The experimental units were formed in a randomized complete block design with five treatments and four replications. Monoculture and intercropping tree density were 10000 plants ha⁻¹ and 20000 plants ha⁻¹. The litterbag method was employed to evaluate decomposition. A total of 120 bags were filled with fresh leaves of the species collected from pruning, and placed half-buried in each experimental unit. Three periods of incubation (4, 8, and 16 weeks) for each treatment by season were evaluated. Furthermore, the fraction of N and C was determined. The weight loss, N and OM release was faster in *Moringa oleifera* in monoculture and *L. leucocephala* and *M. oleifera* mixed. The decomposition patterns of all species followed the simple exponential model; more than 80% of the initial mass was incorporated at the end of the study period. We concluded that *G. ulmifolia*, *L. leucocephala* and *Moringa oleifera* in monoculture and associates demonstrated their ability to produce considerable OM and release significant amounts of N in short time periods.

Key words: Agroforestry, fodder banks, decomposition, leaf litter chemistry, nitrogen, organic matter.

Introducción

La descomposición consiste en una serie de procesos físicos y químicos por medio de los cuales la hojarasca y el follaje se reduce a sus constituyentes químicos elementales (Aerts, 1997). Constituye uno de los procesos más importantes en los ecosistemas por su aporte de nutrientes al suelo (Aber y Melillo, 1991), por su repercusión en el presupuesto global de carbono debido a la cantidad de este elemento que es regresada a la atmósfera como consecuencia de la respiración de los organismos descomponedores (Aerts, 1997), y porque a través de la propia cadena de desintegradores fluye una cantidad importante de energía que, dependiendo del estado sucesional del sistema, puede acumularse en mayor o menor medida en el suelo como mantillo y humus.

Además, la descomposición de materia orgánica es responsable del retorno de enormes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, de la formación de sustancias húmicas que contribuyen a la fertilidad del suelo, así como el almacenamiento a largo plazo del carbono y está estrechamente ligada a los ciclos de nutrientes. Los residuos vegetales generados en los agroecosistemas, son objeto de procesos de descomposición y mineralización, que liberan una serie de compuestos importantes para la nutrición de las plantas y posibilitan la disponibilidad de cantidades considerables de N, P, K, Ca, Mg y otros microelementos. En este proceso, se producen tanto sustancias inorgánicas (en forma de aniones y cationes) como sustancias orgánicas, que pueden ser objeto de nuevos procesos de resíntesis y polimerización, formando ácidos húmicos, con características y propiedades químicas específicas (Fassbender, 1993).

Se considera que la agroforestería, permite mantener un reciclaje de nutrientes más eficaz que la agricultura. Esta hipótesis se basa en parte en estudios sobre el reciclaje eficiente de los nutrientes de la hojarasca de los árboles en ecosistemas naturales, así como en el supuesto de que en los sistemas agroforestales los árboles transfieren igualmente los nutrientes a los cultivos intercalados. Actualmente, se le está dando una mayor importancia al estudio del aporte de minerales a través de la descomposición de materia orgánica que ofrecen los árboles de especies leguminosas y no leguminosas en los sistemas

agroforestales. Los árboles son capaces de mantener o aumentar la fertilidad de los suelos a través del reciclaje de nutrientes, mantenimiento de la materia orgánica del suelo por medio de la producción y descomposición de hojarasca y de los residuos de podas. (Mafongoya *et al.* 1998, Palm y Sánchez 1990).

Aunque se ha generado mucha investigación de la incorporación de especies forrajeras en sistemas silvopastoriles existe escasa información del proceso de descomposición y mineralización, por lo que el objetivo de este trabajo consistió en estudiar la dinámica de la descomposición y liberación de nutrientes en hojas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam. en un banco mixto de forraje, en Yucatán, México.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el área de agroecología del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, durante el periodo mayo 2008 a abril 2009. La zona presenta un clima Aw₀ según la clasificación de Köppen modificada por García (1988), con una precipitación promedio anual de 953 mm, concentrándose de junio a octubre el 82 % de las precipitaciones. En la Figura 1, se muestra la precipitación (mm) y las temperaturas mínimas y máximas presentadas durante el periodo experimental, que va de mayo 2008 a abril 2009.

La temperatura media anual es de 26.5 °C, siendo el mes de abril el más caluroso cuando se alcanzan temperaturas máximas de 38 °C y mínimas de 22.3 °C, el mes más frío es diciembre, con una temperatura máxima de 29.2 °C y una mínima de 18.8 °C. La humedad relativa varía de 66 %, en el mes de abril, a 85 %, en el mes de septiembre. Los suelos predominantes de esta zona son litosoles “tsek’el” -en nomenclatura maya- (Bautista, *et al.*, 2005)

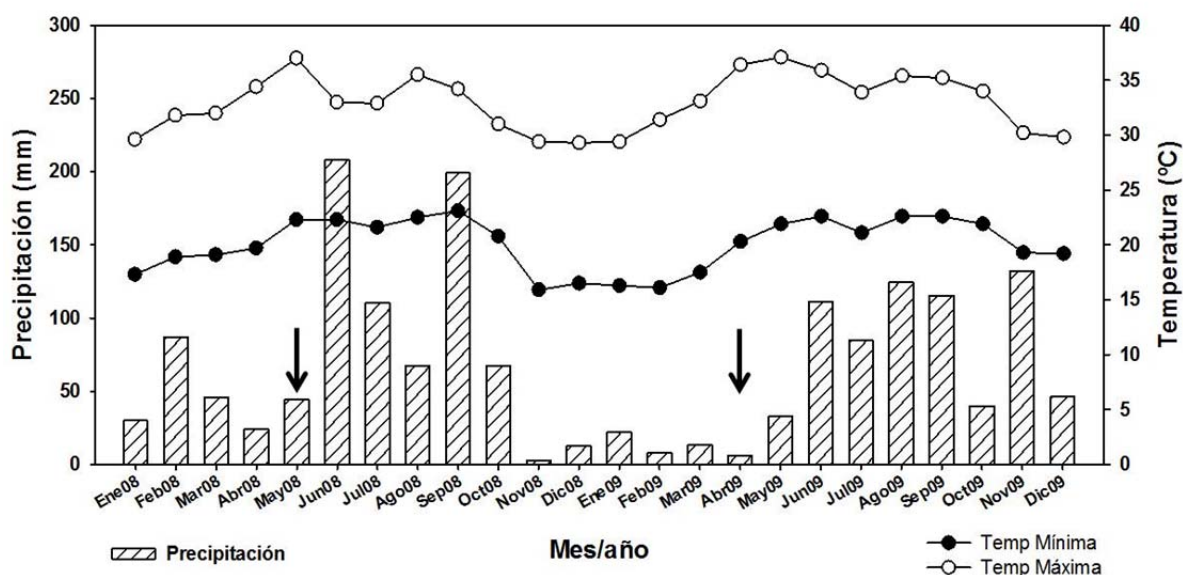


Figura 1. Precipitación, temperaturas máximas y mínimas en Mérida, Yucatán. Las flechas (↓) indican el periodo de muestreo. (Fuente: CONAGUA, 2010).

El área experimental tiene una historia de uso como sistema de corte y acarreo de forraje, el cual ha estado operando durante siete años. Las podas que se realizan son totales, en las que se remueve la mayor parte de toda la biomasa foliar (>90 % del follaje), cuatro veces al año; dos podas en época seca y dos en época de lluvias (Solorio, 2005). Las unidades experimentales se encuentran arregladas en un diseño de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 4 bloques por tratamiento (Figura 2). Las plantas fueron establecidas por trasplante, cuando alcanzaron 30 cm de altura aproximadamente. En total se establecieron veinte parcelas (5 parcelas por bloque) de 10 x 20 m. con las especies *Leucaena Leucocephala* (Lam.) De Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam., y *Moringa oleifera* Lam., ya sea en monocultivo o asociadas entre sí, los cuales fueron plantados en hileras a lo largo de la parcela, con una separación entre hileras de 2 m y entre plantas de 0.5 m. La densidad de plantas para el sistema asociado fue del doble en comparación con el monocultivo (10,000 y 20,000 plantas ha⁻¹, respectivamente), aunque la densidad por especie fue constante (10,000 plantas ha⁻¹). Cada parcela consta de cinco hileras y solamente tres hileras se consideró la parcela útil. Así mismo, se realizaron deshierbes dos veces al año.

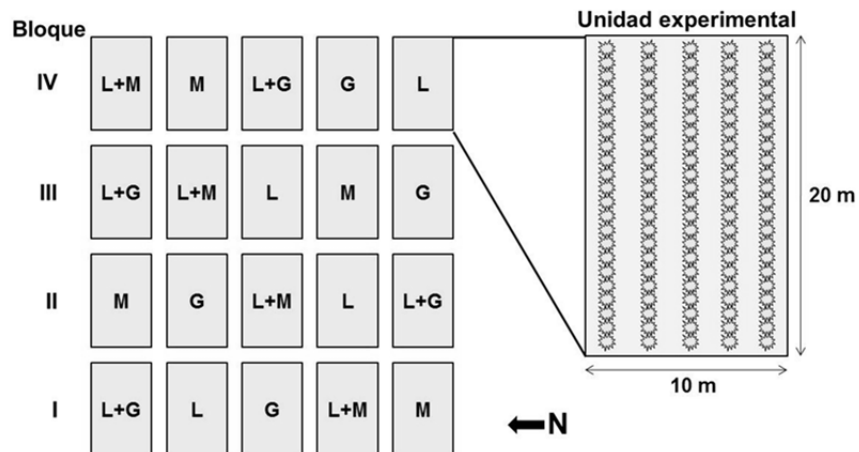


Figura 2. Arreglo experimental de las especies en estudio en el experimento. (L+M) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Moringa oleifera*; (L+G) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Guazuma ulmifolia*, (L) *Leucaena leucocephala* en monocultivo; (M) *Moringa oleifera* monocultivo y (G) *Guazuma ulmifolia* en monocultivo en Yucatán, México.

El Cuadro 1, indica las características físicas y químicas del suelo en el área experimental, en donde se observa una alta pedregosidad (74%) y bajas proporciones de suelo (26%), que son limitantes físicas para la producción de forraje. Los contenidos de N (0.95%) y P (6.6 %) se consideran bajos, mientras el C (6.2%) es adecuado.

A finales de enero y abril (época de sequía), julio y octubre (época de lluvias) se podaron los árboles a una altura de 1.0 m sobre el nivel suelo, correspondiendo los dos primeros cortes a la época seca y los dos últimos a la época de lluvias. En cada corte, se cuantificó el rendimiento de forraje (kg MS ha^{-1})

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del suelo en el área experimental.

Elementos	
pH	7.8
Pedregosidad, %	74
Suelo, %	26
N, %	0.95
C, %	6.2
P %	6.6
Potencial de mineralización de N, mg kg ⁻¹	63
K intercambiable, mg kg ⁻¹	517
Ca intercambiable, mg kg ⁻¹	1086
Mg intercambiable, mg kg ⁻¹	345

Las tasas de descomposición son un indicador de la funcionalidad de los procesos de los ecosistemas en el suelo y de los ciclos de nutrimentos que incluyen descomposición de la hojarasca y el aporte de nutrimentos y en el que los organismos del suelo desempeñan un papel central (Tian y Badejo 2001). La hojarasca es un término general para las partes senescentes de las plantas y se diferencia de follaje verde en que gran parte de los compuestos de carbono y los nutrimentos solubles son trasladados de las hojas durante la senescencia, antes de la abscisión y posterior caída de las hojas. Como resultado, los índices de calidad y la descomposición de la hojarasca y el follaje de la misma planta pueden ser muy diferentes (Constantinides y Fownes, 1994)

Para el experimento de descomposición se construyeron bolsas de nylon (litterbags), de 30 cm x 30 cm y 2 mm de abertura de la malla, y se llenaron con hojas frescas (follaje verde) colectadas de la segunda poda de lluvias de 2008 y de la primera poda de sequía 2009 de cada parcela, estas bolsas fueron

colocadas semi-enterradas en el suelo, al comienzo, centro y final de los callejones formados por los árboles. En total se utilizaron 120 bolsas por cada época del año (5 tratamientos, 3 periodos de incubación y 8 replicaciones). Se evaluaron tres periodos de incubación para cada tratamiento: 4, 8, y 16 semanas de acuerdo a los pesos iniciales del follaje, tal y como se lista a continuación:

- Una mezcla de 101 g de hojas frescas de *L. leucocephala* + *G. ulmifolia*, equivalente a 41 g de materia seca (20.5 g de *L. leucocephala* + 20.5 g de Guazuma)
- 100 g de hojas frescas de *L. leucocephala*, equivalente a 39 g de materia seca
- 100 g de hojas frescas de *G. ulmifolia*, equivalente a 42 g de materia seca
- Una mezcla de 119 g de hojas frescas de *L. leucocephala* + *Moringa oleifera*, equivalente de 39 g de materia seca (20 g *L. leucocephala* +18 g de *Moringa oleifera*)
- 136 g de hojas frescas de *Moringa oleifera*, equivalente a 35 g materia seca.

En las semanas previstas se retiraron las bolsas de cada unidad experimental y se extrajo el material, se separó y limpió cuidadosamente de acuerdo al tratamiento y a la especie, para luego secarse en una estufa de circulación de aire forzado a 60°C hasta peso constante (48 h aproximadamente), la cantidad obtenida se registró como peso seco del material remanente en gramos. En base a lo anterior se calculó el porcentaje de masa remanente (MR) de acuerdo a la siguiente ecuación (i):

$$\% \text{ MR} = \frac{M_t}{M_i} \times 100 \quad (\text{i})$$

MR= Masa remanente

M_t= Peso seco del material remanente en el tiempo t

M₀= Peso inicial del material verde

La constante de descomposición *k*, fue calculada por la siguiente ecuación (ii):

$$\ln (M_0 / M_t) = k * t \quad (\text{ii})$$

Donde **M₀** es la masa en el tiempo 0; **M_t** es la masa en el tiempo t; **t** el tiempo de incubación (semanas) y **k** la constante de descomposición.

Para determinar la constante de descomposición exponencial (**k**), se aplicó el modelo exponencial simple (ecuación iii):

$$Y = a e^{(-kt)} \quad (iii)$$

Posteriormente, las muestras fueron molidas en partículas menor de 0.5 mm y llevadas a laboratorio donde se determinó el contenido de proteína cruda (PC) y la fracción de carbono (C) con ayuda del analizador elemental Leco CN 2000®.

Los datos obtenidos se compararon mediante un análisis de varianza de acuerdo al diseño de bloques completos al azar con el programa Statgraphics© para Windows versión 5.1. Cuando se presentaron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de error Tipo I.

Resultados y Discusión

Dinámica de la descomposición del follaje

Pérdida de peso

Los tratamientos registraron comportamientos diferentes en los periodos de descomposición evaluados (Cuadro 2), en la temporada de lluvias se detectaron diferencias estadísticamente significativas en las semanas 4 y 16 con valores de $P < F = 0.005$ y 0.001 , respectivamente; en contraste con la época de sequía cuando en todos los periodos evaluados se reportaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P < F = 0.000$ para 4 y 8 semanas; 0.006 para 16 semanas).

Por otra parte, también se aprecia en el Cuadro 2., la pérdida de peso de los diferentes tratamientos durante la época de lluvias y de sequía. Se distingue que la descomposición es más acelerada en el periodo de lluvias, a las 4 semanas se ha incorporado aproximadamente el 77% de la masa inicial y al final del periodo (16 semanas) alrededor del 93%. Por el contrario en la temporada de sequía se incorporó cerca del 63% y 78% para los mismos periodos.

Al mismo tiempo, se observa que la más rápida descomposición en los monocultivos correspondió a *M. oleifera* (aproximadamente 96%) y la más lenta a *L. leucocephala* (92.3%), en contraste con las asociaciones en las que *L. leucocephala* con *M. oleifera* incorporó cerca del 94% y 90% cuando está asociada a *G. ulmifolia*.

Cuadro 2. Masa remanente (%) en hojas de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México

Tratamiento / Periodo (Semanas)	% Masa remanente					
	Época de Lluvias			Época de Sequía		
	4	8	16	4	8	16
Monocultivo						
<i>G. ulmifolia</i>	27.0±2.1 ^a	9.5±1.1 ^a	7.0±0.6 ^b	54.0±2.0 ^a	48,2±1.9 ^a	38.6±7.5 ^a
<i>L. leucocephala</i>	24.5±1.2 ^{ab}	9.0±1.4 ^a	7.7±0.9 ^{ab}	43.6±0.2 ^b	39.7±3.4 ^a	23.5±6.0 ^{ab}
<i>M. oleifera</i>	17.7±1.4 ^b	7.4±1.1 ^a	4.2±0.5 ^{bc}	11.6±0.5 ^d	8.6±0.8 ^b	7.4±0,4 ^b
Asociación						
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	26.0±0.3 ^a	11.9±1.9 ^a	10.0±0.6 ^a	47.5±1.7 ^b	38.9±4.1 ^a	28.1±5.0 ^{ab}
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleifera</i>	20.7±1.3 ^{ab}	10.0±1.9 ^a	6.7±0.5 ^c	29.9±0.5 ^c	20.3±2.5 ^b	13.5±3.0 ^b
Tratamientos P<F	0.005	0.351	0.001	0.000	0.000	0.006
Época P<F	0.002	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001
Interacción Época x Tratamiento P<F	0.971	0.797	0.974	0.971	0.797	0.974

Medias ± error estándar con literales distintas difieren estadísticamente. Las letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos y las mayúsculas entre épocas

Mientras tanto para la temporada de sequía se observa que la velocidad de descomposición en los monocultivos sigue el orden: *G. ulmifolia* < *L. leucocephala* < *M. oleifera* con valores de 61.4, 76,5 y 92.6%, respectivamente. Mientras que en las

asociaciones *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* incorporó cerca del 72% y cuando está asociada con *M. oleífera* el 86.5%

En forma general el proceso de descomposición fue mayor en el periodo de lluvias con aproximadamente 87% de la masa incorporada, en tanto en la temporada de sequía se incorporó alrededor del 70%, prevaleciendo una diferencia de cerca del 17% entre las épocas.

Igualmente, se observa que entre épocas se presentaron diferencias estadísticamente significativas en todos los periodos de evaluación con valores de $P < F = 0.002, 0.000$ y 0.001 , para las 4, 8 y 16 semanas, respectivamente. Es de hacer notar que en ninguno de los periodos evaluados se detectaron interacciones entre las épocas y los tratamientos ($P < F = 0.971, 0.797$ y 0.974 para las 4, 8 y 16 semanas).

La Figura 3, muestra las ecuaciones de predicción con las constantes de descomposición (k), los coeficientes de regresión (R^2) y las probabilidades ($P < F$) de la pérdida de peso, hallada tras la aplicación del modelo exponencial simple ($Y = ae^{-bt}$), para los diferentes tratamientos en las temporadas de lluvias y sequía. En los monocultivos los valores de k fluctúan entre -0.31 y -0.41 y son netamente superiores que los estimados para el periodo de sequía, a excepción de la constante de descomposición de *M. oleífera*, que muestra un valor de $k = -0.50$. En las asociaciones los valores de k en lluvias, también son mayores que en la temporada de sequía. Asimismo, los R^2 para los monocultivos y las asociaciones en la época de lluvias predicen entre 98% y 99% el proceso de descomposición, en tanto para la temporada de sequía, también existe una buena predicción. (83-98%).

Las pérdidas de peso presentadas por los tratamientos evaluados fueron rápidas en la fase inicial del ensayo, debido a que este proceso inicial es realizado por la macrofauna que es la encargada de fragmentar físicamente los residuos vegetales con el fin de mejorar las condiciones del material para que la microfauna pueda continuar con el proceso de descomposición. La fase final es llevada a cabo por hongos y bacterias del suelo (Reynolds y Hunter, 2001). Igualmente, la descomposición inicial está también relacionada con la concentración de elementos solubles en agua y carbohidratos, mientras que la fase final de la descomposición está más relacionada con los

contenidos de lignina presentes en los materiales (Preston y Trofymow, 2000). Por otro lado, la calidad y cantidad de recursos del suelo y la hojarasca afectan directamente la abundancia, composición y actividad de la comunidad descomponedora.

Los datos obtenidos para determinar el peso seco remanente de los 5 tratamientos, se ajustaron bien al modelo exponencial simple, lo que permite predecir cuál será la descomposición de los residuos a través del tiempo. Esto concuerda con otros estudios realizados sobre descomposición (Palm y Sánchez, 1990; Munguia, 2003).

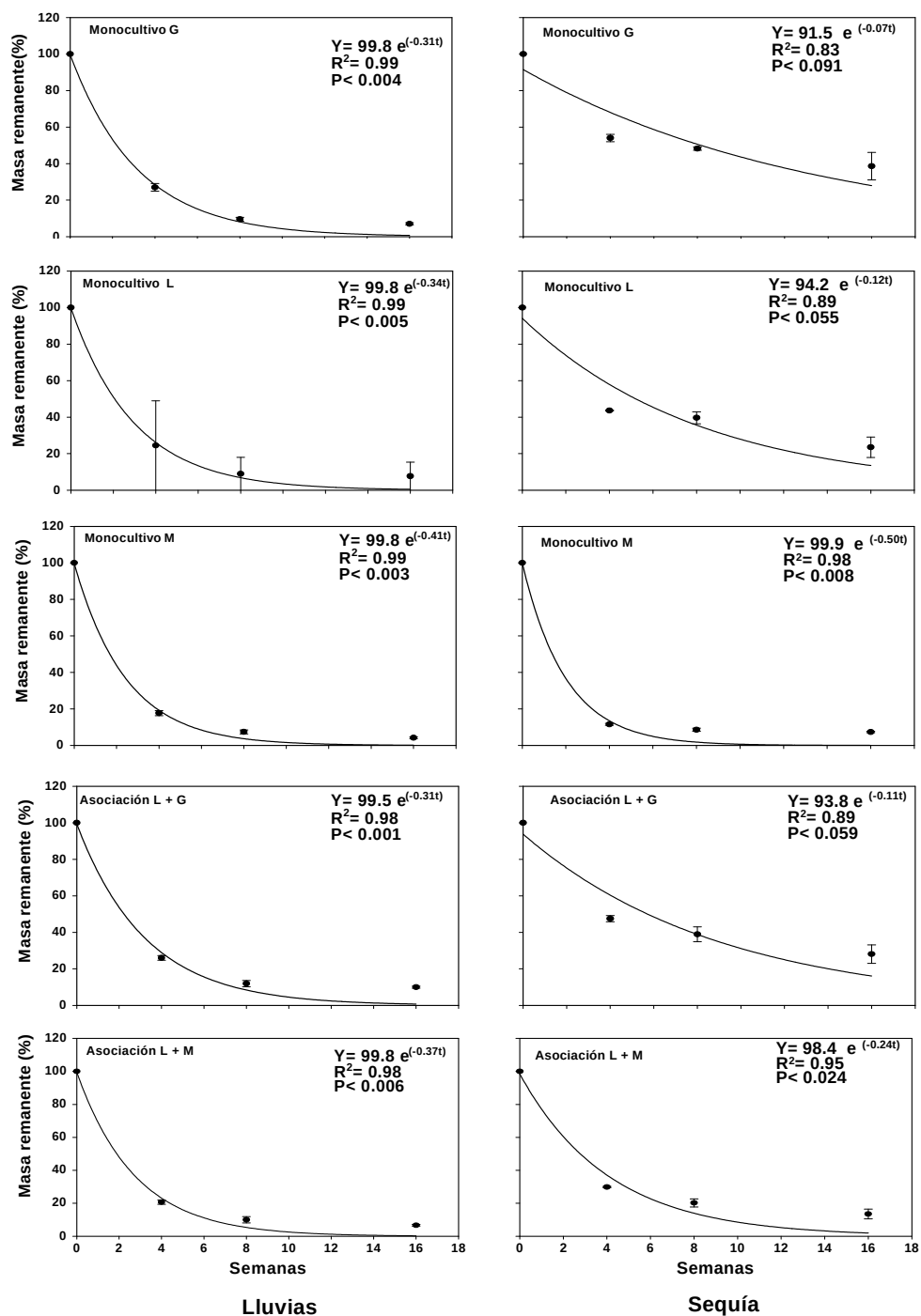


Figura 3. Dinámica temporal de la Masa remanente en la descomposición de hojas especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo para la época de lluvias y sequía en Yucatán, México. Medias $\pm$ error estándar

Descomposición y patrones de liberación de Nitrógeno

La liberación de N es el término usualmente empleado para designar la pérdida de este elemento (en forma orgánica y/o mineral) a partir de materiales en descomposición (Palm y Sánchez 1990). Mientras que la mineralización de N se refiere estrictamente al proceso de transformación de N orgánico en N mineral, proceso que es importante para el crecimiento de las plantas (Alexander, 1977). La liberación de N está dada por la diferencia entre el 100% del N y el N remanente contenido por el material vegetal.

En el cuadro 3, se indica el comportamiento del N y se puede observar que entre los tratamientos se presentaron diferencias estadísticamente significativas solo durante la época de lluvias con valores de $P < F = 0.000$ y 0.001 en los tres periodos de muestreo (4, 8 y 16 semanas), al contrario de la temporada de sequía cuando los tratamientos se comportaron de forma similar durante los tres periodos de evaluación y no se observaron diferencias estadísticamente significativas con $P < F = 0.987$, 0.872 y 0.915 para las 4, 8 y 16 semanas.

En la temporada de lluvias se presentó una rápida liberación de N, al final del periodo de evaluación (16 semanas). En los monocultivos se observó la siguiente secuencia *M. oleifera* > *L. leucocephala* > *G. ulmifolia* con valores de 92.5, 92.6 y 95.9%. En las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleifera*, la liberación fue más rápida (85.4%) que cuando está asociada con *G. ulmifolia* (79%). Por otra parte en la temporada de sequía el proceso de descomposición fue más lento, *G. ulmifolia* en monocultivo fue la de menor velocidad en liberar el 72.5% N a las 16 semanas, mientras *M. oleifera* fue la más veloz con 94.5% a las 16 semanas. *L. leucocephala* liberó el 78.5%. En las asociaciones también se evidenció una lenta descomposición durante los periodos de incubación, *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, liberó menos N (54% al final del periodo) que cuando está asociada a *M. oleifera* (67%). (Cuadro 3).

Al comparar la liberación promedio de N en las dos épocas del año, se observó que en lluvias fue aproximadamente el 71% y en sequía 66%. Asimismo se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las épocas en los periodos de descomposición de 4, 8 y 16 semanas ($P < F = 0.039$, 0.001 y 0.004), además no hubo

efecto de la interacción entre épocas y tratamientos, tal como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Nitrógeno remanente (%) en hojas de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México

Tratamiento / Periodo (Semanas)	% Nitrógeno Remanente					
	Época de Lluvias			Época de Sequía		
	4	8	16	4	8	16
Monocultivo						
<i>G. ulmifolia</i>	24.1±1.9 ^c	9.8±1.1 ^b	7.5±0.7 ^c	38.4±1.4 ^a	34.3±0.6 ^a	27.7±5.4 ^a
<i>L. leucocephala</i>	20.4±1.0 ^c	8.6±1.3 ^b	7.4±0.9 ^c	32.2±0.2 ^a	32.4±2.7 ^a	21.5±5.1 ^a
<i>M. oleífera</i>	13.6±1.1 ^d	6.1±3.2 ^b	4.1±0.5 ^c	8.4±0.4 ^a	7.2±0.7 ^a	5.5±0.3 ^a
Asociación						
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	44.8±0.4 ^a	23.8±4.9 ^a	21.0±1.3 ^a	68.6±2.4 ^a	60.9±5.2 ^a	45.7±8.3 ^a
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleífera</i>	33.4±1.6 ^b	23.7±0.9 ^a	14.6±1.3 ^b	53.6±0.3 ^a	44.4±6.5 ^a	32.8±8.8 ^a
Tratamientos <F	0.000	0.001	0.000	0.897	0.872	0.915
Época P<F	0.039	0.001	0.004	0.039	0.001	0.004
Interacción Época x Tratamiento P<F	0.971	0.797	0.974	0.971	0.797	0.974

Medias ± error estándar con literales distintas difieren estadísticamente. Las letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos y las mayúsculas entre épocas

Solorio (2005) en el mismo banco mixto de proteínas, a la edad de 2 años, observó una rápida liberación de N en *M. oleífera*, moderada en *L. leucocephala* y lenta en *G. ulmifolia* las primeras 4 semanas en la época de lluvias (67%, 47% y

14%), mientras que en las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleífera* obtuvo la mayor liberación (47%). Para la temporada de sequía reporta que la tendencia en la liberación de N siguió la misma tendencia, que cotejado con los resultados de esta investigación son muy similares.

Otros estudios realizados en plantaciones puras y mixtas de *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms y *Eucalyptus grandis* W. Hill. en Brasil por Baliero, *et al* (2008), encontraron que a pesar de que la liberación de N y P para *P. guachapele* y *E. grandis* no se ajustaba bien al modelo exponencial, observaron una tendencia a la liberación más rápida de estos elementos en las plantaciones mixtas de estas dos especies a las 22 semanas, en comparación con las plantaciones puras. Por su parte Wang *et al* (2008) en plantaciones puras y mixtas de *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. y *Michelia macclurei* Dandy al Sur de China, encontraron que la liberación de N estuvo entre el 47% al 66% en las plantaciones puras, mientras que en las mixtas fue más rápida.

En el Himalaya Central, en una plantación mixta establecida en tierras agrícolas abandonadas, Semwal *et al*, (2003) estudiaron la composición química y los patrones descomposición de seis especies de árboles de uso múltiple: *Alnus nepalensis* D. Don., *Albizia lebbek* (L.) Benth. , *Boehmeria rugulosa* Wedd., *Dalbergia sissoo* DC., *Ficus glomerata* Roxb. y *F. roxburghii* Steud. y reportan que las tasas más altas de liberación de N y P se produjeron durante la temporada de lluvias.

Quizás la forma más sencilla para regular la tasa de descomposición de las podas o de la hojarasca es variar la forma en la que estas se incorporan en el suelo. Wilson *et al*. (1986) publicó que ocurrió una descomposición más rápida y una mayor recuperación N en podas de *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* cuando se incorporaron en el suelo. El calendario de aplicación de las podas también puede modificarse para ayudar a la sincronización de liberación de nutrimentos y recortar la demanda de los cultivos. Mulongoy *et al* (1993) reseñan que es ventajoso aplicar podas de baja calidad dos a cuatro semanas antes de sembrar los cultivos para permitir un tiempo suficiente al proceso de descomposición.

El patrón que mejor caracterizó la descomposición y liberación de N, fue el modelo simple exponencial. La Figura 4 muestra las ecuaciones de predicción y las constantes de descomposición ($-k$), los coeficientes de regresión (R^2) y la probabilidades ($P<$) para el nitrógeno, tanto en temporada de lluvias como en sequía, según la aplicación del modelo exponencial simple ($Y = ae^{-bt}$), para los diferentes tratamientos en las temporadas de lluvias y sequía. En los monocultivos los valores de k fluctúan entre -0.34 y -0.48 y son netamente superiores que los estimados para el periodo de sequía, exceptuando el k para *M. oleífera* (-0.58) en sequía. En las asociaciones los valores de k en lluvias, también son mayores que en la temporada de sequía. Asimismo, los R^2 predicen el proceso de descomposición para los monocultivos (99%) y las asociaciones (95%) en la época de lluvias y $>80\%$ para el periodo de sequía.

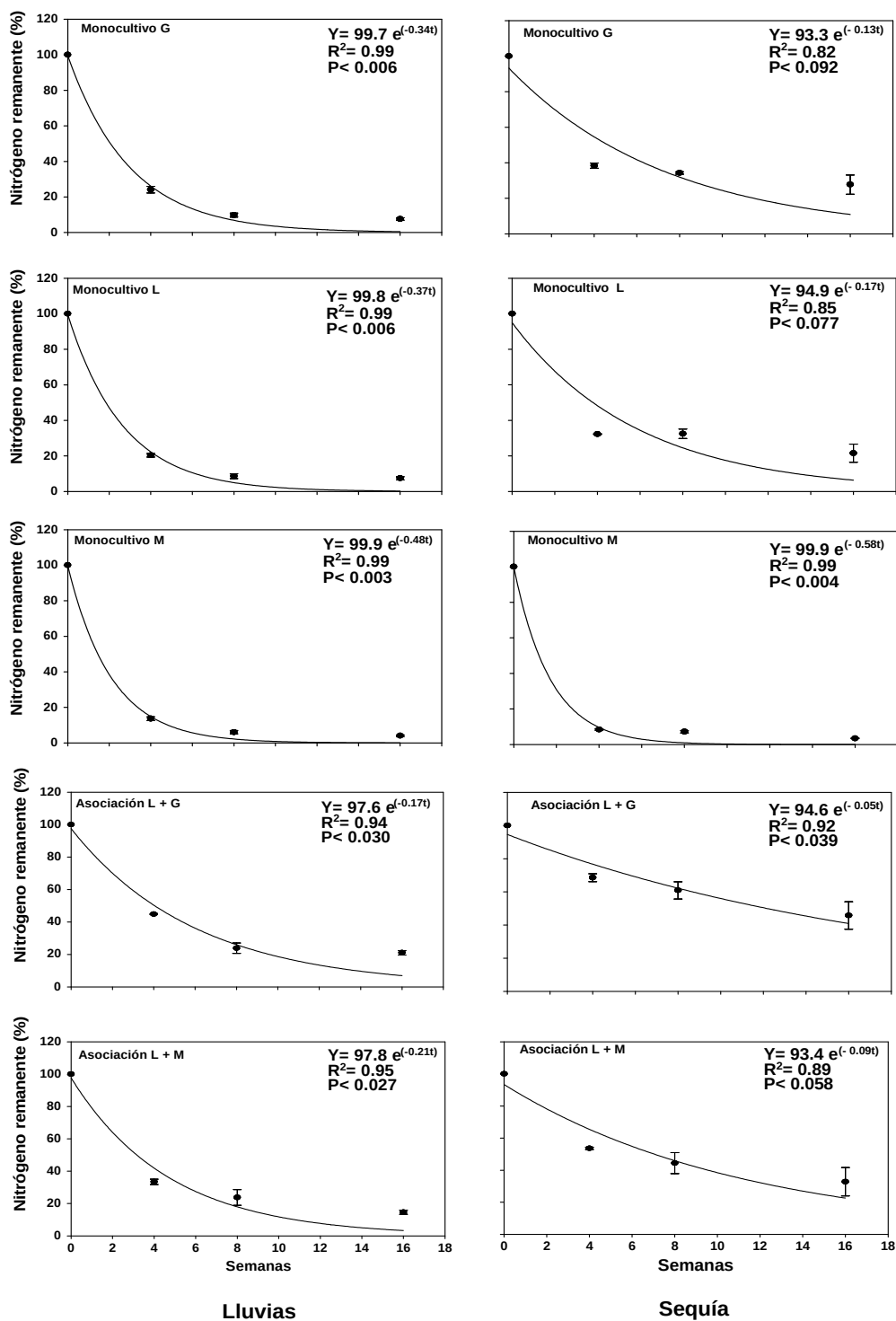


Figura 4. Dinámica temporal del N en la descomposición de hojas especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo para la época de Lluvias y sequía en Yucatán, México. Medias $\pm$ error estándar.

Descomposición y patrones de liberación de Materia Orgánica

Fassbender (1993) indica que el contenido porcentual de materia orgánica (MO) en la primera capa del suelo es alto con respecto a las capas subsiguientes. Los valores del contenido de la materia orgánica del horizonte A en suelos tropicales, varían en un promedio del 2% al 5%, la disminución de la materia orgánica es notoria por la acumulación de restos orgánicos y la actividad de los microorganismos en los primeros decímetros del suelo. Por otra parte presenta efectos directos e indirectos sobre la disponibilidad de nutrimentos para el crecimiento vegetal y sirve como fuente de N, P, y S a través de su mineralización por los microorganismos del suelo e influye en el aporte de nutrimentos desde otras fuentes, como por ejemplo cuando se requiere como fuente de energía para la fijación bacteriana de N, por lo tanto la cantidad de N₂ molecular fijado por los fijadores libres será influenciada por la cantidad de energía disponible en la forma de carbohidratos (Silva *et al.* 1992).

Por otra parte, dado que la estimación más ampliamente aceptada de MO del suelo está basada en la determinación de carbón orgánico (CO) oxidable (Método de Walkley-Black; % MO = % CO x 1.724), por ello los estudios sobre materia orgánica son estudios de carbón orgánico (Nair, 1993).

En el cuadro 4, se aprecia que para la MO ocurrieron diferencias significativas entre los tratamientos en la época de lluvias ($P < F = 0.000$ y 0.000) y sequía ($P < F = 0.000$ y 0.0024) sólo en los periodos evaluados a las 4 y 16 semanas, respectivamente.

En el periodo lluvioso el proceso de incorporación de MO fue más rápido. En los monocultivos, al final del periodo de estudio, la secuencia fue *M. oleifera* > *G. ulmifolia* > *L. leucocephala* con 96.8, 93.3 y 92.9%, respectivamente. Mientras que en las asociaciones, *L. leucocephala* con *M. oleifera*, incorporó el 85.5% y cuando está asociada con *G. ulmifolia* el 83.8%.

Para la época de sequía al final del periodo (16 semanas), en los monocultivos *M. oleifera* incorporó rápidamente el 94.5% de la MO, seguida *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* con 77.5 y 63.3%, respectivamente. En las asociaciones se observó que

la incorporación fue mayor en *L. leucocephala* con *M. oleifera* que cuando esta con *G. ulmifolia*, con 62.5 y 53.8%, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Materia orgánica remanente (%) en hojas de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México

Tratamiento / Periodo (Semanas)	% Materia Orgánica Remanente					
	Época de Lluvias			Época de Sequía		
	4	8	16	4	8	16
Monocultivo						
<i>G. ulmifolia</i>	25.9±2.0 ^b	9.0±1.1 ^a	6.7±0.6 ^b	51.7±1.9 ^b	46.3±0.9 ^a	36.7±7.1 ^{ab}
<i>L. leucocephala</i>	24.3±1.2 ^b	8.0±1.2 ^a	7.1±0.9 ^b	41.3±0.2 ^c	37.6±3.1 ^a	22.5±5.4 ^{ab}
<i>M. oleifera</i>	13.7±1.1 ^c	5.5±0.9 ^a	3.2±0.4 ^b	8.4±0.4 ^d	6.3±0.6 ^a	5.5±0.3 ^b
Asociación						
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	40.8±0.3 ^a	18.0±2.1 ^a	16.2±1.3 ^a	70.1±1.3 ^a	57.8±8.0 ^a	46.2±8.3 ^a
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleifera</i>	37.9±2.2 ^a	22.7±4.7 ^a	14.2±0.5 ^a	70.1±0.5 ^a	53.0±8.0 ^a	35.7±0.3 ^{ab}
Tratamiento P<F	0.000	0.726	0.000	0.000	0.8109	0.024
Época P<F	0.006	0.000	0.001	0.006	0.000	0.001
Interacción Época x Tratamiento P<F	0.991	0.872	0.923	0.991	0.872	0.923

Medias ± error estándar con literales distintas difieren estadísticamente. Las letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos y las mayúsculas entre épocas

Al comparar la incorporación promedio de MO en las dos épocas del año, se observó que en lluvias fue aproximadamente el 83 % y en sequía 61%.

Asimismo ocurrieron diferencias estadísticamente significativas entre las épocas del año con valores $P < F = 0.006$, 0.000 y 0.001 para los tres periodos de evaluación, y no hubo efecto de la interacción entre épocas y tratamientos.

Solorio (2005), reporta que no encontró diferencias significativas entre los tratamientos para la época de sequía. En los monocultivos, a las 4 semanas *L. leucocephala* liberó el 45% de la MO mientras que en *M. oleífera* y *G. ulmifolia* el proceso fue más lento, para el mismo periodo observándose valores de 41% y 33%, respectivamente. Al final del proceso *M. oleífera* incorporó el 79% de MO. En las asociaciones a las 4 semanas *L. leucocephala* y *M. oleífera* (41%) y *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (32%), al final del periodo de experimental la asociación de *L. leucocephala* con *M. oleífera* liberó el 79%. En la temporada de lluvias en los monocultivos la más rápida descomposición fue para *M. oleífera* (87%) y la más lenta para *G. ulmifolia* (62%) a las 16 semanas. La asociación *L. leucocephala* con *M. oleífera* presentó la descomposición más rápida. Confrontado estos resultados con los aquí considerados se observaron diferencias importantes en cuanto al comportamiento de las especies en monocultivos y asociadas en las dos épocas del año, en cuanto a la velocidad del proceso de descomposición durante el periodo de investigación.

La Figura 5 muestra las ecuaciones predictivas y los coeficientes de descomposición (k), los coeficientes de regresión (R^2) y la probabilidades ($P <$) para la MO y el modelo que mejor caracterizó la descomposición y liberación de MO fue el simple exponencial ($Y = ae^{-bt}$) tanto en temporada de lluvias como en sequía. En los monocultivos los valores de k fluctúan entre -0.33 y -0.48 y son superiores a los estimados para el periodo de sequía, a excepción de la constante de descomposición de *M. oleífera*, que muestra un valor de k de -0.59 . En las asociaciones los valores de k en lluvias, también son mayores que en la temporada de sequía. De igual forma los coeficientes de regresión (R^2) predicen que el proceso de descomposición puede ser explicado en 99% para los

monocultivos y 98% en las asociaciones para la época de lluvias ; en tanto para la temporada de sequía, también existe una adecuada predicción (>80%).

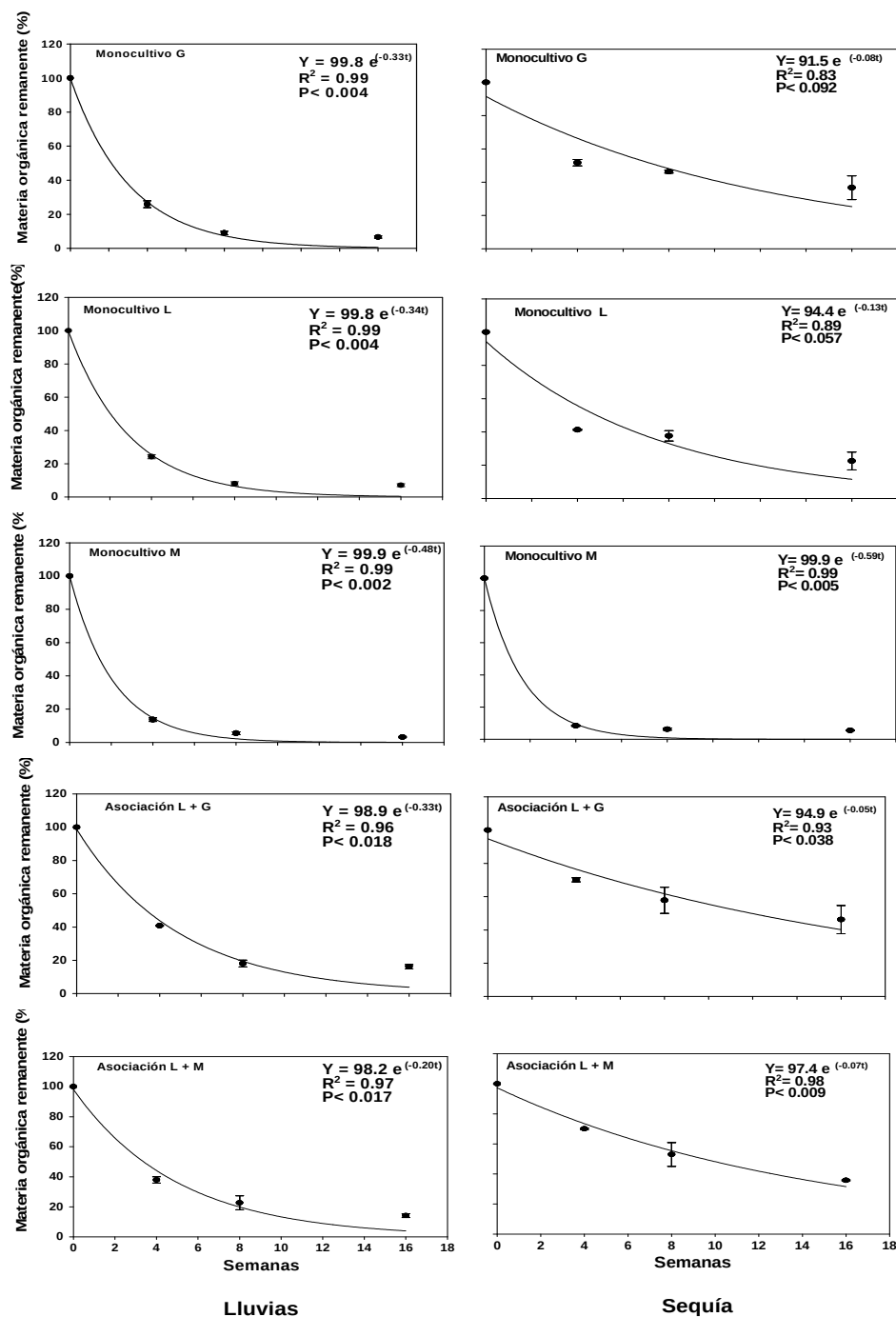


Figura 5. Dinámica temporal de la MO en la descomposición de hojas especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo para la época de lluvias y sequía en Yucatán, México. Medias $\pm$ error estándar

Las tasas de descomposición y liberación de nutrientes son determinadas por la calidad de la materia orgánica (Swift *et al.* 1979). La calidad del carbono de un material orgánico depende de las proporciones del carbón soluble, celulosa (hemicelulosa) y lignina; la calidad, en este caso se refiere a la energía disponible para los organismos descomponedores, El carbón soluble que incluye carbón metabólico y de almacenamiento, es de alta calidad y es principalmente responsable de promover el crecimiento y la actividad microbial (Smith, 1994). La cantidad de carbón soluble es también quien determina la mineralización de nutrientes o patrones de inmovilización. La celulosa, o estructuras polisacáridas, son de calidad intermedia para la descomposición y son atacados por microbios después que los carbohidratos solubles se han agotado (Swift *et al.* 1979). La lignina es considerada como el componente más importante para la determinación de las tasas de descomposición (Meentemeyer 1978).

Hairiah (1999), argumenta que las prácticas de manejo de la materia orgánica tales como los sistemas de setos vivos con cultivos intercalados pueden tener un gran impacto en la descomposición, la mineralización de nutrientes y la actividad microbiana. Trabajos realizados en Lampung. (Indonesia) en un bosque secundario encontraron cantidades más altas de biomasa microbiana (106 mg kg^{-1}), poblaciones microbianas totales ($224 \times 10^4 \text{ UFC}$) y actividad microbiana ($7 \text{ mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ de CO_2 producido) en comparación con lo hallado en parcelas de 8 años en sistemas de setos vivos con cultivos intercalados y aportes de poda de *Peltophorum adnatum* Griseb., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. , *Calliandra calothyrsus* Meisn., *L. leucocephala* o *Flemingia macrophylla* (Willd.) Merr. En las mismas parcelas registraron 7 especies de lombrices de tierra bajo el bosque secundario, que disminuyó a 6 en el sistema de setos vivos con cultivos intercalados (*Peltophorum*, *Gliricidia* y la asociación *Peltophorum* + *Gliricidia*) y 5 especies en las parcelas testigo (sin setos vivos), respectivamente

Los residuos de cultivos, hojarasca, restos de podas incorporados al suelo, son determinantes para la actividad de los microorganismos, ya que constituyen una fuente importante de energía para su crecimiento (Da Costa, 1995), representando un 1-5% del C y N y hasta 19% del P orgánico (Meléndez 2003). El crecimiento de

la biomasa microbiana en los residuos aumenta el movimiento de la materia orgánica del suelo, a través de reacciones concurrentes de inmovilización, mineralización y estabilización. Estos procesos fundamentales ayudan a mantener el ciclo de nutrición de las plantas y es importante para la conservación de la materia orgánica del suelo a largo plazo, a través de la producción de precursores de sustancias húmicas. La formación de sustancias orgánicas estabilizadoras de la estructura del suelo depende, principalmente, de la incorporación de residuos y de las prácticas de manejo de suelos. El carbono total que queda durante una descomposición es mayor que el carbono procedente del material vegetal restante. Al transcurrir un largo período de incubación, las proporciones relativas de las diferentes clases de materia vegetal captados por el suelo son similares, aun cuando la composición vegetal inicial puede variar. El grado de incorporación del carbono orgánico al suelo, está determinado por el nivel de pH del entorno. El material que se incorpora al suelo sufre cambios físicos, bioquímicos y biológicos durante una descomposición. (Voroney *et al.* 1989).

Petit *et al* (2009) señalan que las especies arbóreas poseen elementos de alto valor nutricional que ayudan a reducir problemas de fertilidad en los suelos; incorporando hojarasca de buena calidad para un eficiente reciclaje de nutrientes y de esta manera aumentar la posibilidad de mejorar la productividad de la especie(s) asociada(s). Del mismo modo, las leguminosas arbóreas pueden establecer simbiosis con bacterias y hongos, que mejoran la disponibilidad de elementos limitantes para su crecimiento, y añaden que la asociación de especies arbóreas, puede utilizarse para satisfacer una amplia gama de objetivos productivos, ecológicos y económicos. Sin embargo, esto no sólo depende de las características de las especies, sino también en gran medida de los recursos disponibles del sitio, tales como; luz, agua y nutrientes del suelo, así como también del manejo del agroecosistema.

Por otra parte, Richards *et al.* (2010) afirman que si las tasas de descomposición son constantes o aumentan, una mayor producción de hojarasca o cambios en el ritmo de las aportaciones en plantaciones mixtas podrían aumentar el suministro de nutrientes al suelo, en comparación con los monocultivos; e ilustran con un

ejemplo de un experimento en árboles tropicales, en el cual la producción de la madera y hojarasca sobre el suelo fueron superiores en las mezclas de tres especies que en sus correspondientes monocultivos, debido a que las interacciones interespecíficas influyen en el crecimiento y la captura de nutrimentos mientras que las tasas de descomposición de hojarasca no fueron afectadas

CONCLUSIONES

Leucaena leucocephala, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en monocultivo y asociadas, demostraron su capacidad para producir considerables cantidades de materia orgánica y liberar importantes cantidades de N en cortos períodos de tiempo. La pérdida de masa inicial del follaje fue más rápida en la época de lluvias, los patrones de descomposición de todas las especies siguieron el modelo exponencial simple, con más del 80% de la masa inicial incorporada al final del periodo de estudio (16 semanas).

La pérdida de peso fue más rápida en *Moringa oleifera* > asociación *L. leucocephala* con *M. oleifera* > *L. leucocephala* > asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* > *G. ulmifolia*., mientras la liberación de N fue más rápida en *Moringa oleifera* y más lenta en la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*. Mientras que las hojas de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* liberaron N a tasas con valores intermedios. Lo anterior tiene implicaciones significativas para la sincronización de la liberación de nutrimentos con la absorción de los cultivos en sistemas de bajos insumos (e.g. agricultura migratoria) en los en los trópicos, donde los ciclos de rotación son frecuentes (Jordan, 1985). En este sentido las especies estudiadas en esta investigación tendrían un trascendental valor para el caso del N y la MO liberada, y puede inferirse que la disponibilidad de estos elementos podría utilizarse en diferentes sistemas agroforestales de acuerdo a los requerimientos de N y al ciclo de rotación, por ejemplo en cultivos en callejones con combinaciones agrosilvícolas (maíz, calabaza, frijoles, entre otros) y silvopastoriles (árboles en pastizales, bancos y asociaciones forrajeras), así como también como métodos de conservación de suelos en zonas con problemas de erosión.

Agradecimientos

A la Universidad de los Andes de Mérida Venezuela, financiadora de los estudios doctorales de la Prof (a) Judith Petit Aldana, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y al personal técnico del área de forrajes del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la UADY.

LITERATURA CITADA

- ABER, J.; MELILLO, J. 1991. Terrestrial ecosystems. Saunders College Publishing, USA. 429 pp.
- AERTS, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 79: 439-449.
- ALEXANDER, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2 ed. New York, J. Willey. 474p
- BALIEIRO, F.; RODRIGUES, B.; PEREIRA, M.; DE FARIA, S.; FRANCO, A.; CAMPELLO, E. 2008 Biological nitrogen fixation a nutrient release from litter of the guachapele leguminous tree under pure and mixed plantation with eucalyptus. *Cerne, Lavras*, v. 14, n. 3, p. 185-193
- BAUTISTA, F., PALMA-LÓPEZ, D.; HUCHIN-MALTA, W. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán, p. 105- 122. *En*: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 p.
- BERENDSE, F.; BOBBINK, R.; ROUWENHORST, G. 1989. A comparative study on nutrient cycling in wet heathland ecosystems. Litter decomposition and nutrient mineralization. *Oecologia* 78: 338-348.
- CONAGUA. 2010. Boletín meteorológico del estado de Yucatán. Consulta: 30 de mayo, 2010 de <http://www.conagua.gob.mx/OCPY07/Contenido/Documentos/BolEst.pdf>

- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochem* 26(1): 49-55.
- CUEVAS, E.; MEDINA, E. 1988. Nutrient dynamics within amazonian forests II. fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia*, 76: 222-235.
- DA COSTA M, 1995. Abonos verdes: una práctica indispensable en los sistemas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales *En: García JE y Monte-Najera J (eds.). Agricultura Orgánica. Simposio Centroamericano (1995, San José, Costa Rica). Memorias. San José, Costa Rica. P 91-119.*
- DZIADOWIEC, H. 1987. The decomposition of plant litter fall in an oak-linden-hornbeam forest and oak-pine mixed forest of the Bialowieza National Park. *Acta Soc Bot Polon* 56:169–185.
- FASSBENDER, H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. CATIE (Serie de materiales de enseñanza N° 29). 491 p.
- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- GOSZ J.R.; LIKENS, G.E; BORMANN, F.H. 1973. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook Forest, New Hampshire. *Ecol Monogr* 43: 173-191.
- HAIRIAH, K. 1999. Changes of decomposition rate of different litter quality under different soil biological condition. *In: A Gafur, FX Susilo, M Utomo and M van Noordwijk (eds.). Proceedings of a Workshop on Management of Agrobiodiversity in Indonesia for Sustainable Land Use and Global Environmental Benefits. UNILA/PUSLIBANGTAN, Bogor, 19-20 August 1999.*
- HEAL, O., ANDERSON J.; SWIFT M. 1997. Plant litter quality and Decomposition: An Historical Overview. Pp. 3-32. *En: G. Cadish & K.E. Giller (Eds.). Driven by Nature. Plant*

- JORDAN C. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. Principles and their application in management and conservation. litter quality and decomposition. University Press, Cambridge, London, UK. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 190 pp
- KOERSELMANN, W.; MEULEMAN, A. F. M. 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology* 33(6):1441– 450.
- MAFONGOYA, P.L, NAIR, P.K.R.; DZOWELA, B.H. 1997. Multipurpose tree prunings as a source of nitrogen to maize under semiarid conditions in Zimbabwe. 2. Nitrogen-recovery rates and crop growth as influenced by mixtures and prunings. *Agroforestry Systems* 35: 47–56.
- MAFONGOYA, P.L.; GILLER, K.E.; PALM, C.A. 1998. Decomposition and nutrient release patterns of prunings and litter of agroforestry trees. *Agroforestry Systems* 38: 77–97
- MARTÍN, G.; RIVERA, R. 2004. Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos Tropicales*. 25(3): 89-96.
- MARTINEZ-SANCHEZ, J. L. 2006. Leaf and soil nitrogen and phosphorus availability in a neotropical rain forest of nutrient-rich soil. *Rev. Biol. Trop.* 54 (2): 357-361.
- MEENTEMEYER, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59:465-472.
- MELÉNDEZ, G; SZOTT, T; RICSE, A. 1995. Mineralización de nitrógeno de material foliar de especies de *Inga*. Nitrogen Fixing Tree, research report (EUA). P 35-41.
- MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; MURATORE, J. F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63:621-626.
- MORO M., A. J.; DOMINGO, F. 2000. Litter decomposition in four woody species in a Mediterranean climate: weight loss, N and P dynamics. *Annals of Botany* 86: 1065-1071.

- MULONGOY, K.; IBEWIRO, E., OSENI, O.; KILUMBA, N.; OPARA-NADI, O.; OSONUBI, O 1993. Effect of management practices on alley cropped maize utilization of nitrogen derived from prunings on a degraded Alfisol in southwestern Nigeria. *In*: Mulongoy K and Merckx R (eds) Soil Organic Matter and Sustainability of Tropical Agriculture, pp. 223–230. Wiley/Sayce, Chichester, UK
- MUNGIA, R. 2003. Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de hojarasca de *E. deglupta*, *C.arabica* y de hojas verdes de *E. Poeppigiana* solas y en mezclas. Tesis MSc. Turrialba, CATIE, Costa Rica 82p.
- NAIR, P. K. R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, The Netherlands. 499 p.
- PALM, C.A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*, 30:105-124
- PALM, C.A; SÁNCHEZ, P.A. 1990. Decomposition and nutrient release of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica*. 22:330-338.
- PARTEY, S. T. QUASHIE-SAM, S. J. THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M. 2011. Decomposition and nutrient release patterns of the leaf biomass of the wild sunflower (*Tithonia diversifolia*): a comparative study with four leguminous agroforestry species. *Agroforestry Systems* Volume 81, Number 2, 123-134, DOI: 10.1007/s10457-010-9360-5.
- PETIT, A.J.; CASANOVA, L.F.; SOLORIO, S.F.J. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos. *Agricultura Técnica en México*. 35 (11): 107-116.
- PRESTON C.M; TROFYMOW J.A. 2000. Canadian Intersite Decomposition Experiment Working Group, Variability in litter quality and its relationship to litter decay in Canadian forests. *Canadian. of Journal of Botany*. 78:1269-1287.
- REYNOLDS B.C; HUNTER, M.D. 2001. Responses of soil respiration, soil nutrients, and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. *Soil Biol. Biochem.*33:1641-1652.

- RICHARDS, A.; FORRESTER, D.; BAUHUS, J.; SCHERER-LORENZEN, M. 2010. The influence of mixed tree plantations on the nutrition of individual species: a review. *Tree Physiology* Advance Access published May 14, 2010. *Tree Physiology*: 1-17. Consulta 22 de Mayo, 2010 de <http://treephys.oxfordjournals.org>
- SALAKO, F.K.; TIAN. G. 2001. Litter and biomass production from planted and natural fallows on a degraded soil in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems* 51: 239-251.
- SÁNCHEZ, C.; LAMA, D.; SUANTUNCE, P. 2008. Hojas caídas y aporte de nutrientes de diez especies forestales tropicales. *Ciencia y Tecnología* 1(2): 73-78.
- SCHROTH, G. 2003. Decomposition and nutrient supply from biomass *En* Schroth G. and Sinclair F. L.(Eds) *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*.
- SCOWCROFT, P. 1997. Mass and nutrient dynamics of decaying litter from *Passiflora mollissima* and selected native species in a Hawaiian montane rain forest. *J. Trop. Ecol.* 13: 407- 426.
- SEMWAL, R.L., MAIKHURI, R.K., RAO, K.S., SEN, K.K. AND SAXENA, K.G. 2003. Leaf litter decomposition and nutrient release patterns of six multipurpose tree species of central Himalaya, India. *Biomass and Bioenergy* 24, 3-11.
- SILVA, A.; PONCE DE LEÓN, J.; REYES, R. 1992. Efecto de la aplicación de efluentes orgánicos de tambo sobre la producción de verdeos y propiedades físico-químicas del suelo. *Notas. Técnicas* Nº 16. Facultad de Agronomía. Uruguay. 16 p.
- SMITH, J.L. 1994. Cycling of nitrogenous through microbial activity. *In*: Hatfield JL and Stewart BA (eds) *Soil Biology: Effects on Soil Quality*, pp 91-120. *Advances in Soil Sciences*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- SOLORIO, S.F.J. 2005. Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non/leguminous shrubs. PhD Thesis,

- Institute of Atmospheric and Environment Science. Edinburgh, Scotland. 200 p.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W; ANDERSON; J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkeley. 372 p.
- TAYLOR B.R, PARKINSON D, PARSONS WFJ. 1989. Nitrogen and lignin content as predictor of litter decay rates: A microcosm test. *Eco1ogy* 70: 97-104
- THOMPSON, M.; VITOUSEK, P. 1997. Asymbiotic nitrogen fixation and litter decomposition on a long soil-age gradient in Hawaiian Montane Rain Forest. *Biotropica*, 29(2): 134-144.
- TIAN G.; BADEJO, M.A. 2001. Soil fauna and soil fertility. *En: Sustaining Soil Fertility in West Africa. SSSA Special Publication* 58: 45–67
- VANLAUWE, B.; VANLANGENHOVE, G.; MERCKX,R.; VLASSAK, K. 1995. Impact of rainfall regime on the decomposition of leaf litter with contrasting quality under subhumid tropical conditions. *Biol Fertil Soils* 20:8-16.
- VILLEGAS, R. 2010. Descomposición de las hojas del cacao y de seis especies arbóreas, solas y en mezcla en Alto Beni, Bolivia Tesis de Maestría. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 82 p.
- VITOUSEK, P.M. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65: 285–298
- VITOUSEK, P., D. TURNER, W. PARTON & R. SANFORD. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii .: patterns, mechanisms and models. *Ecology*, 75(2): 418- 429.
- VORONEY, R.P; PAUL, E.A; ANDERSON, D.W. 1989. Decomposition of wheat straw and stabilization of microbial products. *Canadian Journal of Soil Science*. 69:63-77.
- WANG, Q., WANG, S., HUANG, Y. 2008. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management* 255, 1210–1218.

- WILSON G.F, KANG B.T ; MULONGOY, K .1986. Alley cropping: trees as sources of green-manure and mulch in the tropics. *Biological Agriculture and Horticulture* 3: 251–267
- XU X, HIRATA E, ENOKI T, TOKASHIKI Y. 2004. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance. *Plant Ecology*. 173: 161-170

Texcoco, México a 18 de marzo del 2011

Prof. Judith Petit Aldana
Universidad de Los Andes
Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales
Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, Venezuela
Presente.

Acuso recibo del artículo- "Dinámica de descomposición y liberación de nutrimentos en hojas de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en un banco mixto de forraje" 10.5154/r.rchscfa.2011.03.025, cuyos autores son: Judith Petit-Aldana, Gabriel Uribe-Valle, Fernando Casanova-Lugo, Javier Solorio-Sánchez y Luis Ramírez-Avilés, para ser sometido en arbitraje y posible publicación.

Atentamente



Dra. Amparo Borja de la Rosa
Editora de la Revista Chapingo
Serie Ciencias Forestales y del Ambiente
Correo electrónico: rforest@correo.chapingo.mx

Comité Editorial

EDITOR PRINCIPAL
Amparo Borja de la Rosa
Universidad Autónoma Chapingo
México

Diódoro Granados Sánchez
Universidad Autónoma Chapingo
México

Raúl Salas González
Universidad de Coimbra
Portugal

Raymundo Dávalos Sotelo
Instituto de Ecología, Jalapa Ver.
México

Celedonio Aguirre Bravo
Universidad Estatal de Colorado
Estados Unidos

Santiago Vignote
Universidad Politécnica de Madrid
España

Aurora González Calderón
Corrector de Estilo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

IX. DISCUSION GENERAL

9.1 Introducción

Numerosas investigaciones han contrastado la productividad de sistemas diversificados y monocultivos y han concluido que la combinación de diferentes formas de vida tienen el potencial de ser biológicamente más productiva y más completa en el uso de recursos que los monocultivos (Haggar y Ewell 1997).

Las especies de árboles de rápido crecimiento son la columna vertebral de las plantaciones forestales y sistemas agroforestales que cubren millones de hectáreas a lo largo de los trópicos húmedos.

La disponibilidad de nitrógeno comúnmente limita la productividad de estos sistemas, que han despertado un gran interés en el desarrollo de sistemas que incluyen árboles fijadores de nitrógeno atmosférico. El éxito de los sistemas silviculturales y agroforestales que emplean árboles fijadores de N atmosférico depende en gran medida de la disponibilidad de fósforo y del pH del suelo. Por otro lado, muchos árboles leguminosos fijadores de N atmosférico son relativamente intolerantes a suelos ácidos. El manejo intensivo que incluye frecuentes cosechas de biomasa con altos contenidos de nutrimentos, puede reducir la disponibilidad de todos los nutrimentos del suelo lo que conduce a la acidificación. Por otra parte, las especies difieren en la eficiencia de la producción de biomasa por unidad de nutrimentos tomados desde el suelo y de la descomposición de la hojarasca (Vitousek, 1982). Especies con una alta eficiencia producen grandes cantidades de biomasa por unidad de nutrimentos y por lo general producen hojarasca de pobre calidad, que reduce el potencial de la disponibilidad de nutrimentos. La importancia de estos posibles efectos en las diferentes especies de árboles en gran medida sigue siendo especulativa, debido en gran parte a la escasa cantidad de plantaciones experimentales con buenos diseños (Binkley, *et al.*, 1992).

Las plantaciones mixtas, en comparación con las plantaciones puras, promueven la regeneración de una mayor diversidad de especies en el sotobosque, al crear una mayor heterogeneidad en el hábitat y un microclima que favorece a los dispersores y a la adaptabilidad de especies para la germinación y crecimiento (Guariguata *et al.* 1995, Montagnini, 2001). En general, la diversificación de especies en plantaciones es deseable debido a la incertidumbre sobre el desempeño de las especies y los riesgos

potenciales de plagas. A su vez, económicamente las plantaciones mixtas tendrán la ventaja de diversificar la producción, que podría reducir los riesgos para los agricultores en mercados inestables (Alice, *et al.*, 2004).

Petit *et al.*, (2009), expresan que la mayor experiencia en estudios de asociaciones de especies arbóreas se reportan para plantaciones forestales mixtas, que tienen el potencial de aumentar la producción de biomasa y el secuestro de carbono (Kaye *et al.*, 2000; Resh *et al.*, 2002; Binkley *et al.*, 2003; Bauhus *et al.*, 2004), así como otros beneficios, tales como la mejora de la fertilidad del suelo y el ciclaje de nutrientes (Binkley *et al.*, 2000; Montagnini, 2000), la protección contra plagas y enfermedades, y la conservación de agua (FAO, 1992; Montagnini, 2000). Además, pueden funcionar como un sistema silvicultural para la producción de madera de alto valor y una gama más amplia de productos (Keenan *et al.*, 1995; Montagnini *et al.*, 1995; De Bell *et al.*, 1997). Igualmente agregan que el éxito de una plantación mixta dependerá de los objetivos específicos del rodal y que es difícil predecir cuales combinaciones de especies conducirán a los aumentos en productividad en estas plantaciones mixtas cuando no exista ninguna información previa. Esto depende no sólo de las cualidades de la especie, sino también de factores del sitio tales como disponibilidad del agua y de alimento (Forrester *et al.*, 2005).

Forrester *et al.* (2006), informan que el diseño y la silvicultura de una plantación mixta depende de objetivos específicos. Por ejemplo, la especie fijadora de N de la asociación se puede utilizar para producir un producto maderero, o simplemente para aumentar la disponibilidad de N, y el objetivo de la mezcla puede ser maximizar la biomasa, el volumen o la diversidad estructural, o para mejorar la forma del árbol y la calidad de la madera. Además hay una amplia gama de diseños y opciones silvícolas disponibles que pueden consultarse en los trabajos de Haines y DeBell, 1980; FAO, 1992; Kelty y Cameron, 1995. Sin embargo, las especies y los atributos del sitio deben ser considerados en el manejo de los procesos y las interacciones de las mezclas serán similares para la mayoría de estos objetivos, y así el conocimiento de estos factores mejorará en gran medida la probabilidad de éxito. En la literatura se encuentran muchas publicaciones que reportan lo que ocurre con el crecimiento y las interacciones que se producen en los sistemas agroforestales (Rao *et al.*, 1998; García-Barrios y Ong, 2004;.

José *et al*, 2004; Thevathasan y Gordon, 2004), en plantaciones forestales mixtas (Cannell *et al*, 1992; FAO, 1992; Kelty, 1992, 2006), mezclas que contengan especies fijadoras de N atmosférico (Binkley, 1992; Sanginga *et al*, 1995; Khanna, 1998) y en las interacciones nutricionales en los bosques de especies mixtas (Rothe y Binkley, 2001).

Los tres tipos más importantes de interacciones que pueden presentarse en plantaciones mixtas son: la competencia, la reducción de la competencia y la facilitación (Vandermeer, 1989; Kelty, 1992). La competencia se produce cuando interactúan las plantas a fin de que al menos una especie ejerce un efecto negativo sobre la otra (Vandermeer, 1989). La reducción de la competencia se produce cuando la competencia interespecífica por la limitación de recursos en la asociación es más débil que la competencia intra-específica en los monocultivos (Kelty y Cameron, 1995). Esto ocurre a menudo, cuando hay un repartimiento de los recursos, ya sea superficial (luz) o subterráneo (agua o nutrimentos) (Kelty y Cameron, 1995; Casanova *et al.*, 2007). La facilitación se produce cuando una especie tiene un efecto positivo en la otra especie (Vandermeer, 1989), por ejemplo, cuando las especies que fijan el N aumentan el crecimiento de otra especie. Las plantaciones de especies mixtas serán más productivas que los monocultivos, en el caso de que la facilitación y reducción de la interacción por competencia superen las interacciones competitivas.

No obstante, existe abundante evidencia que muestra a las plantaciones mixtas como la opción más adecuada para proporcionar una amplia gama de bienes y servicios ambientales, pero aún continúa el debate acerca de si las plantaciones mixtas pueden obtener una mayor productividad que los monocultivos (Piotto, 2008; Forrester *et al*, 2004; Forrester *et al.*, 2005; Forrester *et al.*, 2006).

A continuación se desarrolla la discusión general de esta tesis, de acuerdo al orden de los objetivos propuestos.

9.2 Rendimiento y composición química de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en monocultivo y asociadas.

Para que un árbol o arbusto pueda ser calificado como forrajero debe reunir ciertas ventajas tanto en términos nutricionales, como de producción y de versatilidad agronómica, sobre otros forrajes utilizados tradicionalmente. En tal sentido los requerimientos que debe reunir son los siguientes: a) que su consumo por los animales

sea adecuado como para esperar cambios en sus parámetros de respuesta; b) que el contenido de nutrimentos sea atractivo para la producción animal; c) que sea tolerante a la poda y d) que su rebrote sea lo suficientemente vigoroso como para obtener niveles significativos de producción de biomasa comestible por unidad de área (Benavides, 1999).

Según Rosales (1999), los árboles forrajeros han jugado siempre un papel importante en la alimentación de animales domésticos. Estos recursos alimenticios habían sido generalmente ignorados por científicos debido al conocimiento inadecuado de su uso potencial y a la carencia de iniciativas para desarrollar sistemas alimenticios más innovadores. El enfoque convencional para los árboles forrajeros es estudiar y promover especies "**en forma individual**", cuando la realidad es que, en muchas partes del mundo tropical, los animales comen o son alimentados con "**mezclas**" de distintos follajes arbóreos. Asimismo comenta que las mezclas de forrajes pueden brindar beneficios importantes al sistema productivo en general. Un cultivo de árboles mezclados puede tener ventajas sobre "monocultivos arbóreos" principalmente en términos de una mayor producción de biomasa por unidad de superficie.

En este estudio, el follaje de las especies evaluadas en los diferentes tratamientos, estuvo conformado por 61 % de hojas, 21 % de tallos comestibles y 20% de tallos leñosos lo que resulta en una relación hoja: tallo de 1.8 y se observaron diferencias entre la épocas del año en las hojas, tallos comestibles, leñosos y en la relación hoja:tallo. Del mismo modo, se hallaron diferencias entre las especies asociadas y en monocultivo en la producción de forraje.

Del mismo modo es importante resaltar que en los experimentos donde se ha estudiado la influencia del intervalo entre cortes sobre la producción de biomasa total, hay coincidencia en que el aumento del intervalo entre cortes produce un incremento del rendimiento de la biomasa total de *Leucaena* en monocultivo y que este mayor rendimiento, se atribuye a una mayor cantidad de tallos leñosos. Con relación al comportamiento en el período seco de la *Leucaena*, Hernández *et al.* (1997) reportan que la capacidad de esta planta para rebrotar con vigor después de la poda en plena sequía, es un reflejo de un profundo sistema radical y de una gran cantidad de reservas de la planta.

Stür *et al.* (1994) plantean que comparando los cambios en la tasa de producción semanal con los cambios en la media de producción semanal, es posible determinar el mejor intervalo de corte para maximizar la producción de forraje. La mayor media de producción semanal ocurre cuando la tasa de producción semanal ya presentó su punto máximo y está en decrecimiento. Esto significa que la producción de material comestible puede ser maximizada por intervalos de corte entre el punto máximo de la tasa de producción y el punto máximo de la media de producción semanal. Estos autores reportan que este intervalo está entre 8.5 y 11.5 semanas, con una producción de material comestible equivalente al 50-60 % de la biomasa total.

Sin embargo, Casanova *et al* (2010), compararon intervalos de poda a 3 y 6 meses en *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* en monocultivo y asociadas y encontraron que la poda a 3 meses incrementó el rendimiento de forraje acumulado en la asociación, asimismo reporta que no existió influencia de la poda sobre la densidad del sistema radical en longitud (0.14 cm cm^{-3}) y peso (0.40 mg cm^{-3}).

En esta investigación se encontró que el forraje producido en la asociación *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* (7.0 t MS /ha/año) fue mayor que el monocultivo de *G. ulmifolia* (4.6 t MS /ha/año) y *L. leucocephala* (3.0 t MS /ha/año), por lo tanto se puede inferir que la asociación de especies puede mejorar considerablemente la producción de forraje al diferenciar dos tipos de alimentos, que podrían tener un impacto positivo en la alimentación de los rebaños.

De igual forma, se manifestaron diferencias en las mediciones dasométricas de altura, diámetro y número de rebrotes entre épocas del año y entre las especies en monocultivo y asociadas. En las asociaciones los mayores valores se presentaron en *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, que comparado con sus respectivos monocultivos fueron menores. En forma general, se determinaron bajos incrementos en los valores de altura y diámetro, además de una capacidad moderada de recuperación en el número de rebrotes. Estos bajos incrementos pueden ser debidos entre otras causas a la densidad de plantación, el manejo y el tipo de suelo que presenta alta pedregosidad (74%) y bajas proporciones de suelo (26%).

La competencia se produce cuando dos o más plantas o poblaciones interactúan de manera que al menos una ejerce un efecto negativo en el otro (el crecimiento o la

mortalidad) (Vandermeer, 1989) .En una plantación mixta se produce cuando la competencia inter-específica por un recurso limitante es inferior que la competencia intraespecífica en los monocultivos (Kelty y Cameron, 1995). Esto ocurre a menudo cuando hay una división de recursos ya sea por luz o por agua o nutrimentos, lo que conduce a la separación de nicho y, finalmente, el uso más eficiente de los recursos del sitio. (Kelty y Cameron, 1995). La competencia total entre las plantas es generalmente asimétrica (Hara, 1986) ya que la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrimentos se ve afectada por la competencia por la luz, la cual afecta la capacidad de las plantas para producir raíces. El grado de asimetría depende del recurso por el cual las plantas compiten más intensamente (Weiner, 1986; Hara, 1986; Weiner, 1990).

Es importante destacar que en el ensayo se detectó el efecto de competencia intra e interespecífica, principalmente causado por las altas densidades de plantación (10,000 en monocultivos a 20,000 arb/ha en las asociaciones), la edad de las plantas (6 años) y los regímenes de podas (cada 3 meses), lo que ocasionó una mortalidad cercana al 50%, hecho que limitó la selección de la muestra, para lo cual se tomaron decisiones considerando este efecto.

Es importante destacar que la asociación de especies leñosas puede incrementar el rendimiento y la calidad de forraje, sin embargo es fundamental detectar los efectos benéficos y perjudiciales entre los componentes, para minimizar la influencia de los efectos negativos en la productividad del sistema. Casanova *et al.* (2007) y Casanova *et al.* (2009), señalan que la asociación de especies leñosas actúa recíprocamente de muchas formas, desde una severa competencia, hasta la complementación y/o facilitación. Incluso, donde se presenta competencia; puesto que ésta no es necesariamente negativa para el sistema en su totalidad, ya que pueden presentarse mejoras en el uso de los recursos del suelo.

Piotto (2008) realizó un meta-análisis en relación al crecimiento de los árboles en plantaciones mixtas y en monocultivos. Recopiló un total de 14 estudios que representan 46 especies de árboles de los ecosistemas tropicales y templados para probar tres hipótesis: a) si la composición del rodal afecta la tasa de crecimiento en altura de los árboles, b) si composición del rodal afecta la tasa de crecimiento en diámetro de árboles, y c) si la presencia de especies de árboles fijadores de nitrógeno

en las plantaciones forestales mixtas afecta la tasa de crecimiento en diámetro de especies no-fijadoras de nitrógeno. Los resultados del estudio reportan que las plantaciones mixtas no tuvieron mayores tasas de crecimiento en altura, pero las tasas de crecimiento en diámetro fueron mayores en ellas, con un moderado pero significativo efecto. Los árboles de especies fijadoras de nitrógeno tuvieron un efecto positivo y significativo sobre la tasa de crecimiento en diámetro con respecto a los árboles de especies no fijadoras de N. Este estudio sugiere que las mezclas de especies aumentan la tasa de crecimiento de las plantaciones. Por otra parte, las plantaciones mixtas pueden desempeñar un papel importante en la satisfacción de las necesidades económicas al reducir la rotación pero añaden otros beneficios ecológicos y son una opción viable para recuperar paisajes degradados, así como incluir especies fijadoras de nitrógeno para maximizar las interacciones positivas en estas plantaciones.

Por otro lado, las investigaciones sobre la alimentación animal con especies arbóreas siempre han estado en una continua expansión y desarrollo, puesto que la mayor parte del ganado del mundo, en particular los rumiantes en sistemas mixtos de pastoreo en muchos países en desarrollo, sufren de estrés nutricional permanente o estacional (Bruinsma, 2003). La limitada producción y disponibilidad de forraje es una de las principales limitaciones de la producción en los sistemas de pequeños productores en África y América Tropical. Muchas investigaciones se han llevado a cabo para mejorar la calidad y la disponibilidad de recursos alimenticios, incluyendo trabajos en conservación de forrajes, utilización de árboles de usos múltiple, uso de residuos fibrosos de los cultivos y suplementación estratégica (Thornton, 2010).

Desde el punto de vista nutricional de la combinación de especies comparado con aquel obtenido de las especies ofrecidas individualmente puede explicarse por razones asociadas con la reducción de los efectos tóxicos de un forraje en particular, con efectos sinérgicos a nivel digestivo de los componentes de la mezcla o con un incremento en la variedad y palatabilidad de la dieta. Estas interpretaciones destacan tres aspectos importantes del valor nutritivo de las mezclas de árboles forrajeros: los factores antinutricionales, los efectos asociativos en digestibilidad y los efectos asociativos en consumo voluntario (Rosales, 1999).

La información sobre el valor nutritivo y alimenticio de muchos árboles y arbustos es escasa. Existe mucha menos información sobre el valor nutritivo y alimenticio de mezclas de hojas de árboles. La mayoría de la información disponible que incluye el uso de dos o más especies forrajeras arbóreas se refiere a su valor de reemplazo. Existen sin embargo, algunos estudios sobre mezclas de follajes de árboles que indican su potencial (Phiri *et al.*, 1992; Bosman *et al.*, 1995; Reynolds y Adediran, 1988).

En este trabajo se detectaron diferencias en los contenidos de PC, FDN, FDA, y C entre épocas del año, así mismo entre los tratamientos evaluados en los contenidos de PC, FDN, C y N.

Los rangos de PC para las especies en monocultivos estuvieron entre 121 y 212 g/kg, los de FDN 348 y 504, FDA entre 286 y 389 g/kg, C (408 y 441 g/kg) y N entre 19 y 34 g/kg, respectivamente. Mientras tanto para las asociaciones se obtuvieron 159 y 200 g/kg (PC), 399 y 294 g/kg (FDN), 281 y 372 g/kg (FDA), 424 y 435 g/kg (C) y para el N entre 25 y 32 g/kg por lo que se considera que las características químicas de las especies forrajeras evaluadas pueden mejorar los niveles productivos de los rebaños, particularmente por el hecho de que la fuente forrajera disponible es de baja calidad, especialmente en época seca (Kaitho, 1997). El alto contenido de proteína de las especies hace posible que animales en condiciones de pastoreo aumenten tanto su ganancia de peso como su producción de leche (Wahyuni *et al.*, 1982; Saucedo *et al.*, 1980). Así, la concentración promedio de PC encontrada en los follajes arbóreos evaluados supera ampliamente al contenido de PC de los pastos de la región, que normalmente no exceden del 10 % y digestibilidades entre 45 a 60 % (Leng, 1986). La mayoría de las especies poseen valores de PC superiores al 120 g/kg, contenido recomendado por algunos autores para la elección de especies leñosas forrajeras (Flores, *et al.*, 1988).

Los valores de FDN y FDA contenidas en las especies coinciden con los encontrados en la literatura y presentaron una amplia variación, característica observada también en otros estudios en follajes de leñosas (Khazal *et al.*, 1994). Estos valores son importantes, ya que una alta concentración de FDA en forrajes ha sido asociada con bajas digestibilidades a nivel ruminal, mientras que una alta concentración de FDN se asocia con un menor consumo de alimento (Fabey y Berger, 1988). Asimismo, Norton y

Alam (1996) el contenido de nitrógeno de hojas de árboles forrajeros es por lo general alto (24-40 g/kg lo que representa 150 – 250 de PC) y supera el requerido para el mantenimiento de la fermentación en el rumen (65-85 g/kg).

9.3 Producción y composición química de la hojarasca de especies arbóreas creciendo asociadas y en monocultivo.

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 descomponen 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 y desprendimiento 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 nutrientes 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, 2005). 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, 1999).

En el presente estudio se encontró que la dinámica mensual de la caída hojarasca en el sistema siguió una distribución unimodal y los mayores aportes fueron en el periodo de lluvias en los meses de junio y septiembre. En tanto que para el periodo de sequía (noviembre-abril) el mayor aporte se dio en el mes de diciembre.

Esta tendencia coincide con la reportada por diversos autores para ambientes tropicales, por ejemplo Kumar (2008) explica que para la mayoría de las especies deciduas la caída de hojarasca sigue un patrón de distribución unimodal, ya sea durante la estación seca o durante la temporada de lluvias. En algunos casos; sin embargo, coincide con los eventos de la precipitación máxima.

También fue evidente que el promedio anual de hojarasca fue significativamente mayor en las mezclas, que en los monocultivos en ambas épocas del año. Esta diferencia puede ser principalmente atribuida a la composición de las especies. Sundarpandian y Swamy (1999) explican que la composición de las especies de árboles fue importante para la producción de hojarasca dentro de una misma condición climática. En esta investigación las mezclas aportaron el 58 % de la hojarasca en la temporada de lluvias y el 60 % en sequía, en tanto los monocultivos el 42% y el 41 % para los mismos periodos. Estos resultados están de acuerdo con los presentados por Liao *et al.*, (2000) y Wang *et al.*, (2008) para plantaciones mixtas de *Cunninghamia lanceolata* (Lam) Hook con *Michelia macclurei* Dandy en la Provincia de Guangxi y los de Zhang *et al* (1993) para una plantación mixta de *Pinus massoniana* D. Don. y *M. macclurei* en China subtropical. Igualmente Parrota (1999), en un estudio realizado en plantaciones forestales puras y mixtas en Puerto Rico, de *Casuarina equisetifolia* L., *Eucalyptus robusta* S.m y *L. leucocephala*, encontró que las especies en arreglos mixtos tuvieron tasas más altas de hojarasca que en los rodales monoespecíficos. El aumento en la producción de hojarasca también puede ser explicado por un mecanismo llamado principio de producción competitiva (Kelty, 2006). Aplicando este principio a esta investigación se tiene que *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleífera* comparten sustancialmente, entre sí, características diferentes tales como las fenofases, la tolerancia a la sombra, la estructura de la copa, el sistema radical, entre otras, que hacen que estas especies pueden utilizar los recursos del sitio de manera más eficiente en la producción de materiales, dando como resultado una mayor biomasa que podría ocurrir en los monocultivos de las especies componentes (Binkley *et al.*, 1992).

Asimismo se encontró que en la temporada de lluvias *L. leucocephala* en monocultivo y asociada con *G. ulmifolia* obtuvo la producción mayor con 1,022 y 1,542 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Fassbender (1993), explica que los factores climáticos tienen mucha

influencia en la cantidad de la hojarasca que se produce, puesto que con la lluvia se promueve el desarrollo de las plantas lo que se ocasiona mayor cantidad de hojarasca. Por otra parte, los contenidos de N, P y C reportados en este trabajo fueron menores en los monocultivos y mayores para las asociaciones. En este contexto, las diferentes especies de árboles difieren en cuanto a la cantidad y calidad de hojarasca que producen, y por lo tanto en su habilidad para reciclar nutrientes. También 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 que las no leguminosas (Jamaludheen y Kumar, 1999). La hojarasca de *L. leucocephala* en monocultivo presentó las mayores contribuciones de N, C y P; mientras que en las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleifera* aportó las mayores cantidades de N y C. *L. leucocephala* contribuyó con más del 90% de estos elementos. El mayor aporte de fósforo correspondió a la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, lo que constituyó un aporte superior al 60%.

En concordancia con lo expuesto anteriormente, Giraldo *et al.* (1995) reportan que *Calliandra calothyrsus* (leguminosa) aporta más N que *Guazuma ulmifolia*. Por lo tanto, la cantidad de nutrientes reciclados depende 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 transfieren 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 especies caducifolias tienen mayor concentración de N que el de 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* Ducke. (árbol caducifolio), eran similares a las encontradas en los otros árboles perennifolios.

Igualmente, las especies difieren en la cantidad de nutrimentos 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 transfiere 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 árboles perennifolios y caducifolios en Kumaun, Himalaya, las hojas pueden reabsorber entre el 32.7 y el 75.3% de N durante el proceso de senescencia. Para estimar la transferencia de nutrimentos se deben calcular las relaciones N/Ca y P/Ca, por considerarse que cuando el material vegetal está 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 nutrimentos 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 nutrimentos 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).

9.4 Descomposición y liberación de nutrimentos del follaje de tres especies arbóreas asociadas y en monocultivo.

El proceso de descomposición ocurre 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 nutrimentos (Fassbender y Bornemisza, 1987; Bellows, 2001; 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 ocurre 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).

En este trabajo se analizó la dinámica de la descomposición en términos de pérdida de peso y de liberación de nitrógeno (N) y materia orgánica (MO) en hojas de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleífera* en monocultivo y asociadas durante tres periodos de incubación (4, 8 y 16 semanas) en condiciones agroforestales. El propósito principal fue determinar los parámetros que permiten la predicción cuantitativa de la descomposición a partir de biomasa por influencia de los atributos de la biomasa en sí (la calidad de los recursos) y el entorno físico en el que se desarrolla este proceso.

En cuanto a la pérdida de peso se encontró que los tratamientos registraron comportamientos diferentes entre las épocas del año, en la temporada de lluvias la descomposición es más rápida, a las 4 semanas se incorporó aproximadamente el 77% de la masa inicial y al final del periodo (16 semanas) alrededor del 93%. En contraste con la temporada de sequía cuando se incorporó cerca del 63% y 78% para los mismos periodos. En forma general el proceso de descomposición fue mayor en el periodo de lluvias con aproximadamente 87% de la biomasa incorporada, en tanto en la temporada de sequía se incorporó alrededor del 70%, prevaleciendo una diferencia de cerca del 17% entre las épocas.

Al comparar la liberación promedio de N entre las dos épocas del año, se observó que en lluvias fue aproximadamente el 71% y en sequía 66%. Por otra parte, entre los tratamientos se presentaron diferencias solo durante la época de lluvias con valores de en los tres periodos de muestreo (4, 8 y 16 semanas), al contrario de la temporada de sequía cuando los tratamientos se comportaron de forma similar durante los tres periodos de evaluación.

En cuanto a la incorporación de MO, ocurrieron diferencias entre las épocas del año, en lluvias fue aproximadamente el 83 % y en sequía 61%; mientras que entre los tratamientos ocurrieron diferencias en la época de lluvias y sequía sólo en los periodos evaluados a las 4 y 16 semanas, respectivamente.

En cuanto a pérdida de peso, el proceso de descomposición fue más rápido en los monocultivos en la época de lluvias. La más veloz fue *M. oleifera*, seguida de *G. ulmifolia* y *L. leucocephala*. En contraste, en las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleifera* incorporó mayor biomasa que cuando está asociada a *G. ulmifolia*. En tanto que para la temporada de sequía la velocidad de descomposición en los monocultivos fue: *M. oleifera* > *L. leucocephala* > *G. ulmifolia*, mientras que en las asociaciones *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* incorporó menos biomasa que cuando está asociada con *M. oleifera*.

En la temporada de lluvias se presentó una rápida liberación de N, al final del periodo de evaluación (16 semanas). En los monocultivos se observó la siguiente secuencia *M. oleifera* > *L. leucocephala* > *G. ulmifolia*. En las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleifera*, liberó más rápidamente que cuando está asociada con *G. ulmifolia*. Por otra parte en la temporada de sequía el proceso de descomposición fue más lento, *G. ulmifolia* en monocultivo fue la de menor velocidad, mientras *M. oleifera* fue la más veloz. En las asociaciones también se evidenció una lenta descomposición durante los periodos de incubación, *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, liberó menos N que cuando está asociada a *M. oleifera*.

Al igual que la pérdida de peso y la liberación de N, el proceso de incorporación de MO fue más rápido en el periodo lluvioso. En los monocultivos, al final del periodo de estudio, la secuencia fue *M. oleifera* > *G. ulmifolia* > *L. leucocephala*, y en las asociaciones, *L. leucocephala* con *M. oleifera*, liberó mayor cantidad de este elemento

que cuando está asociada con *G. ulmifolia*. Para la época de sequía en los monocultivos *M. oleifera* incorporó rápidamente un alto porcentaje la MO, seguida *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*, respectivamente. En las asociaciones se observó que la incorporación fue mayor en *L. leucocephala* con *M. oleifera* que cuando está con *G. ulmifolia*.

Bajo las condiciones contrastantes de periodos lluviosos y de sequía definidos, como las encontradas en el presente estudio, convendría dar mayor importancia a las especies que tienen capacidad de retener humedad en condiciones secas o con menor precipitación, las que presentan tasas de descomposición altas. También, se puede diferenciar la biomasa de algunas especies, que si bien no retienen humedad, al estar en mezcla con otras especies, logra conservar la humedad a nivel del suelo, lo que favorece a la descomposición de las hojas de las especies que se encuentran en desventaja en la época de sequía.

La tasa de descomposición se puede considerar un parámetro más consistente que el peso remanente en un tiempo dado, porque permite integrar en un solo valor el efecto del tiempo sobre el proceso de descomposición e inferir de forma precisa sobre la descomposición de un determinado sustrato y la comparación entre tratamientos. Además, las tasas de descomposición eliminan errores de contaminación de muestras que pueden existir por las condiciones microclimáticas de sitio, suelo adherido, etc.; que influyen en el peso remanente observado, errores que son nivelados con las curvas de descomposición modeladas bajo un modelo lineal y exponencial (Isaac *et al.* 2005).

Con respecto al presente estudio se pudo observar que los datos obtenidos para determinar la pérdida de peso, la liberación de N y la incorporación de MO de los 5 tratamientos, se ajustaron bien al modelo exponencial simple ($Y = ae^{-bt}$), lo que permite predecir cuál sería la descomposición de los residuos a través del tiempo. Esto concuerda con otros estudios realizados sobre descomposición (Babbar y Ewel 1989, Palm y Sánchez, 1990; Thomas y Asakawa, 1993; Cobo, 1998; Muñoz, 2002; Munguia 2003).

En cuanto a la pérdida de peso, la liberación de N y la incorporación de MO, las tasas de descomposición encontradas difieren entre las épocas del año. En los monocultivos los valores fueron netamente superiores que los estimados para el periodo de sequía, a

excepción de la constante de descomposición de *M. oleifera* que fue elevada en ambas temporadas. Asimismo, en las asociaciones estas tasas de descomposición fueron mayores en lluvias en contraste con las de la temporada de sequía.

La pérdida de peso, la liberación de N y la incorporación de MO, presentadas por los tratamientos evaluados fueron rápidas en la fase inicial del ensayo, debido a que este proceso inicial es realizado por la macrofauna que es la encargada de fragmentar físicamente los residuos vegetales con el fin de mejorar las condiciones del material para que la microfauna pueda continuar con el proceso de descomposición. La fase final es llevada a cabo por hongos y bacterias del suelo (Reynolds y Hunter, 2001). Igualmente, la descomposición inicial está también relacionada con la concentración de elementos solubles en agua y carbohidratos, mientras que la fase final de la descomposición está más relacionada con los contenidos de lignina presentes en los materiales (Preston y Trofymow, 2000). Por otro lado, la calidad y cantidad de recursos del suelo y la hojarasca afectan directamente la abundancia, composición y actividad de la comunidad descomponedora.

Bajo un ambiente seco, las hojas de algunas especies se descomponen más rápido que bajo condiciones húmedas. Esta variación está ligada a la capacidad de retención de humedad de las hojas, así como a la consistencia física de las hojas más que sus características químicas, por tanto, existe otro tipo de interacciones relevantes que se deben conocer para un mejor entendimiento del proceso de descomposición. El hecho de que las tasas de descomposición sean diferentes cuando las especies se encuentran asociadas a cuando se encuentran solas, quizás se corresponda a una modificación de las condiciones microclimáticas.

La forma de crecimiento (perennifolia y caducifolia) es una característica propia de cada especie que interfiere en el momento en que la biomasa de los árboles (ramas y hojas) retorna al suelo y se hace disponible más que en términos de calidad de hojarasca y su descomposición (Wedderburn y Carter, 1999). Más que una clasificación por sus características químicas y de descomposición, sería recomendable estudiar la forma en que la biomasa contribuya a un ciclaje de nutrimentos más eficiente, lo que se puede lograr a través del manejo. Una forma de manejar el aporte de la biomasa puede ser a través de establecer un calendario de aplicación de las podas de acuerdo con las

necesidades de cada especie para lograr una sincronización entre la liberación de nutrientes y las demandas del árbol o el cultivo (Mafongoya *et al.*, 1998) y también aplicar esa sincronía en la distribución de los residuos de la biomasa en lugares donde existe abundante sistema radical para una mejor absorción de nutrientes (Schroth, 2003) y con ello lograr mayor eficiencia en el ciclaje de nutrientes.

Preston y Trofymow (2000) informan que numerosos estudios sobre la dinámica de la descomposición y mineralización de N en materiales vegetales de especies leguminosas y maderables confirman que las tasas de descomposición y mineralización y el ciclaje de nutrientes están correlacionadas con el tipo de componente (hojas verdes, hojarasca y raíces finas) y la calidad (la relación lignina:N) del materia vegetal de las diferentes especies, así como las propiedades bioquímicas (especialmente la concentración inicial de nitrógeno, la relación carbono:nitrógeno) y la temperatura y humedad del suelo.

X. CONCLUSIONES GENERALES

1. En todas las especies estudiadas se encontraron bajos incrementos en los valores de altura y diámetro y una capacidad moderada de recuperación en el número de rebrotes en los dos periodos evaluados (sequía y lluvias).
2. El follaje de las especies evaluadas en los diferentes tratamientos estuvo conformado por 61 % de hojas, 21 % de tallos comestibles y 20 % de tallos leñosos lo que resultó en una relación hoja:tallo de 1.8 que estuvo influenciada por la época del año.
3. El rendimiento de forraje fue mayor en la época de lluvias y en ambas épocas la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* produjo la mayor producción de forraje, con una producción acumulada de 7.0 t MS/ha/año.
4. La época del año tiene una marcada influencia en los contenidos de FDN, FDA, C, N, y la mayor proporción C:N correspondiendo a la temporada de lluvias, y el mayor contenido de PC a la época de sequía.
5. La mayor cantidad de hojarasca ocurre en el periodo de lluvias, siendo *L. leucocephala* en monocultivo y asociada con *G. ulmifolia* con la que obtuvo la mayor producción con 1,022 y 1,542 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Asimismo, la hojarasca de *L. leucocephala* en monocultivo presentó las mayores contribuciones de N, C, y P con 22.0, 443.0 y 0.96 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Mientras en las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleífera* aportó las mayores cantidades de N y C (23.2 y 363.8 kg ha⁻¹ año⁻¹), aunque *L. leucocephala* contribuyó con más del 90% de estos elementos. El mayor aporte de fósforo correspondió a la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (0.77 kg ha⁻¹ año⁻¹), lo que constituye un aporte superior al 60%, lo que constituye una importante premisa, ya que la asociación de especies promueve una producción mayor de hojarasca y aporte de nutrientes en comparación con los monocultivos.
6. *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleífera* en monocultivo y asociadas, demostraron su capacidad para producir considerables cantidades de materia orgánica y liberar importantes cantidades de N en cortos períodos de tiempo. La pérdida de masa inicial del follaje fue más rápida en la época de lluvias, los

patrones de descomposición de todas las especies siguieron el modelo exponencial simple, con más del 80% de la masa inicial incorporada al final del periodo de estudio (16 semanas).

De manera general, la pérdida de peso fue más rápida en *M. oleifera* > asociación *L. leucocephala* con *M. oleifera* > *L. leucocephala* > asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* > *G. ulmifolia*., mientras la liberación de N fue más rápida en *Moringa oleifera* y más lenta en la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*. las hojas de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* liberaron N a tasas con valores intermedios. Lo anterior tiene implicaciones significativas para la sincronización de la liberación de nutrimentos con la absorción de los cultivos en sistemas de bajos insumos (e.g. agricultura migratoria) en los trópicos, donde los ciclos de rotación son frecuentes. En este sentido las especies estudiadas en esta investigación tendrían un valor trascendental para el caso del N y la MO liberada, y puede inferirse que la disponibilidad de estos elementos podría utilizarse en diferentes sistemas agroforestales de acuerdo a los requerimientos de N y al ciclo de rotación, por ejemplo en cultivos en callejones con combinaciones agrosilvícolas (maíz, calabaza, frijoles, entre otros) y silvopastoriles (árboles en pastizales, bancos y asociaciones forrajeras), así como también como métodos de conservación de suelos en zonas con problemas de erosión.

XI. PERSPECTIVAS FUTURAS

Los resultados y discusiones producto de este estudio demostraron que la asociación de especies arbóreas en un banco de forraje genera una mayor eficiencia en la producción de biomasa y en el reciclaje de nutrimentos.

Aunque la relevancia de este tipo de estudios es de actualidad es preciso recomendar que futuras investigaciones se centren sobre los cambios que ocurren en los árboles cuando crecen en las mezclas en comparación con los de los monocultivos. Particularmente con respecto a la eficiencia de uso de recursos (incluyendo alimentos, agua y luz), puesto que de esta manera se puede tener una mejor comprensión de los procesos responsables de los cambios en la productividad y en el reciclaje de nutrimentos que ocurran en estos sistemas de producción de forraje. De esta manera a largo plazo se tendrán referencias probadas del comportamiento de las especies. Por otra parte es importante la selección de especies a utilizar en las mezclas, que hayan sido probadas en ensayos de especies-procedencias y que en el diseño de los bancos de forraje se tome en cuenta los parámetros de plantación recomendados en cuanto a espaciamiento, selección de especies que manifiesten una buena capacidad de rebrote, altos potenciales para producir hojas, así como también una alta resistencia a la frecuente defoliación y que presenten una calidad nutritiva aceptable.

XII. BIBLIOGRAFIA

- ALICE, F.; MONTAGNINI, F.; MONTERO, M. 2004 Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica Agronomía Costarricense, vol. 28, N° 002 pp. 61-71
- BABBAR, L.I; EWEL, J. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. Biotrópica. 21:29-29.
- BAUHUS, J.; VAN WINDEN, A. P.; NICOTRA, A. B. 2004. Above-ground interactions and productivity in mixed-species plantations of *Acacia mearnsii* and *Eucalyptus globulus*. Canadian Journal of Forest. Research. 34:686-694.
- BELLOWS, B. 2001. Nutrient cycling in the pastures: livestock systems guide. ATTRA, California, US. Consultado 25 Marzo 2011 De <http://attra.ncat.org/attrapub/PDF/nutrientcycling.pdf>
- BINKLEY, D. 1992. Mixtures of nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing tree species. In: Cannell, M.G.R., Malcolm, D.C., Robertson, P.A. (Eds.). The Ecology of Mixed Species Stands of Trees. Blackwell Scientific, London, pp. 99-123.
- BINKLEY, D.; GIARDINA, C.; BASHKIN, M. A. 2000. Soil phosphorous pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia facaltaria*. Forest. Ecology and. Management. 128, 241- 247.
- BINKLEY, D.; SENOCK, R.; BIRD, S.; COLE, T. G. 2003. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and N-fixing *Facaltaria moluccana*. Forest Ecology and Management. 182: 93-102.
- BOSMAN, H.G; VERSTEEGDEN, C.J.; ODEYINKA, S.M; TOLKAMP, B.J. 1995. Effect of amount offered on intake, digestibility and value of *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* for West African Dwarf goats. Small Ruminant Research, 15(3): 247-256.
- BRUINSMA, J. 2003. World agriculture: towards 2015/2030, an FAO perspective. Rome, Italy: Earthscan, FAO.
- CANNELL, M.G.R.;MALCOLM, D.C.; ROBERTSON, P.A., 1992. The Ecology of Mixed Species Stands of Trees. Blackwell Scientific, London.

- CASANOVA, F.; RAMÍREZ, L.; SOLORIO, F. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 11 (3): 41-52.
- CASANOVA, F.; RAMÍREZ, L.; SOLORIO, F. 2010. Efecto del intervalo de poda sobre la biomasa foliar y radical en árboles forrajeros en monocultivo y asociados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2010):657-665.
- COBO, J.G. 1998. Abonos verdes como fuente de nitrógeno en un agroecosistema tropical de ladera en Colombia. Tesis M Sc., Turrialba, CATIE, Costa Rica. 86p.
- CRESPO, G.; PÉREZ, A.A. 1999. Significado de la hojarasca en el reciclaje de los nutrientes en los pastizales permanentes. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 33:349
- CUEVAS, E.; MEDINA, E. 1988. Nutrient dynamics within amazonian forests II. fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia*, 76: 222-235.
- DE BELL, D. S.; COLE, T. C.; WHITESELL, C. D. 1997. Growth, development, and yield of pure and mixed stands of Eucalyptus and Albizia. *For. Sci.* 43, 286–298.
- FAHEY, G.G.; BERGER, L.L. 1988. Carbohydrate nutrition in ruminants. In: Church DC editor. *The ruminant animal digestive physiology and nutrition*. Prentice Hall NJ. 269-297.
- FAO. 1992. Mixed and pure forest plantations in the tropics and subtropics. FAO Forestry Paper 103 (based on the work of T.J. Wormald). Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO of the UN, Rome, Italy.
- FASSBENDER, H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. CATIE (Serie de materiales de enseñanza N° 29). 491 p.
- FASSBENDER, H.W; BORNEMIZA, E. 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José, Costa Rica. 420p.
- FLORES, O.I.; BOLIVAR, D.M., BOTERO, J.A., IBRAHIM, M.A. 1998. Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajero para la suplementación de rumiantes en el trópico. *Livest Res Rural Develop*;10(1):1-10.
- FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L. 2005. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of

- Eucalyptus globules* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*. 209: 147-155
- FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L.; VANCLAY, J. 2006. Mixed-species plantations: of *Eucalyptus globules* and *Acacia mearnsii* with nitrogen-fixing trees: A review. *Forest Ecology and Management*. 233: 211-230
- FORRESTER, D.I.; BAUHUS, J.; KHANNA, P.K. 2004. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*. 193: 81-95.
- FOTH, H. 1992. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. México, D.F. ME. Continental. 433 p.
- GARCIA-BARRIOS, L.; ONG, C.K. 2004. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* 61, 221–236.
- GIRALDO, L.A. 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.
- GUARIGUATA, M.R.; RHEINGANS, R.; MONTAGNINI, F. 1995. Growth of native early wood invasion under tree plantations in Costa Rica: implications for forest restoration. *Restoration Ecology* 3: 252-260.
- GUIAMET, J.J. 2004. La senescencia foliar: incógnitas del desmantelamiento celular. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 5 p. Consultado el 27 de marzo 2011 de www.safv.com.ar/Giamet101004.pdf
- HAGGAR, J. P.; EWEL, J.J. 1997. Primary Productivity and Resource Partitioning in Model Tropical Ecosystems *Ecology* 78: 1211-1221
- HAINES, S.G.; DEBELL, D.S., 1980. Use of nitrogen-fixing plants to improve and maintain productivity of forest soils. *In*: *Proceedings: Impact of Intensive Harvesting on Young Nutrition Cycling*. pp. 279–303.
- HARA, T. 1986. Effects of density and extinction coefficient on size variability in plant populations. *Ann. Bot.* 57, 885-892.

- HERNANDEZ, I.; BENAVIDES, J. E.; SIMON, L. 1997. Manejo de las podas de *L. leucocephala* para la producción de forraje en el período seco en Cuba. *Agroforestería en las Américas*.3(11-12):28-31.
- ISAAC, M; GORDON, M; THEVATHASAN, N; OPPONG, S; QUASHIE-SAM; J. 2005. Temporal changes in soil, carbon and nitrogen in west African multiestrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems* 65:23-31.
- JAMALUDHEENN, V.; KUMAR. B.M 1999. Litter of nine multipurpose trees in Kerala, India: variations in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. *Forest Ecology and Management* 115:1-11.
- JOSE, S.; GILLESPIE, A.R.; PALLARDY, S.G. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agrofor. Syst.* 61–62, 237–255.
- KAITHO, R.J. 1997. Nutritive value of browses as protein supplement(s) to poor quality roughages (doctoral thesis). Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University.
- KAYE, J. P.; RESH, S. C.; KAYE, M. W.; CHIMMER, R.A. 2000. Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of *Eucalyptus* and *Albizia* trees. *Ecology* 81: 3267-3273.
- KEENAN, R.; LAMB, D.; SEXTON, G. 1995. Experience with mixed species rainforest plantations in North Queensland. *Commun. For. Rev.* 74, 315–321
- KELTY, M. J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. In: Kelty, M.J., Larson, B.C., Oliver, C.D. (Eds.), *The Ecology and Silviculture of Mixed-Species Forests*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 125–141.
- KELTY, M.J., 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest. Ecology. Management.* 233, 195–204.
- KELTY, M.J.; CAMERON, I.R. 1995. Plot designs for the analysis of species interactions in mixed stands. *Commonwealth For. Rev.* 74, 322–332.
- KHANNA, P.K. 1998. Nutrient cycling under mixed-species tree systems in southeast Asia. *Agrofor. Syst.* 38, 99–120.

- KHAZAL, K.; BOZA, J.; ORSKOV, E.R. 1994. Assesment of phenolics related antinutritive effects in mediterranean browse: a comparison between the use of the in vitro gas production technique with or without insoluble polyvinylspolypyrrolidone or nylon bag. *Anim Feed Sci Technol*;49:133-149.
- KUMAR, B.M. 2008. Litter dynamics in plantation and agroforestry systems of the tropics –A review of observations and methods. *In: Ecological basis of agroforestry*. Edited by Batish, Kumar, Shibu and Singh. C.R.C Press. London. Chapter 10:181-216.
- LENG, R.A. 1986. Drought-feeding strategies-theory and practice. Australia: Penambul Books.
- LIAO, L.P.; WANG, S.L.; CHEN, C.Y. 2000. Dynamics of litterfall in the mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei*: a ten year's observation. *Chin. J. Appl. Ecol.* 11 (Suppl.), 131–136
- MAFONGOYA, P.L.; GILLER, K.E.; PALM, C.A. 1998. Decomposition and nutrient release patterns of prunings and litter of agroforestry trees. *Agroforestry Systems* 38: 77–97
- MONTAGNINI, F. 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forest Ecology and Management.* 134, 257–270.
- MONTAGNINI, F. 2001. Strategies for the recovery of degraded ecosystems: experiences for Latin America. *Interciencia* 26: 498-503.
- MONTAGNINI, F.; GONZALES, E.; PORRAS, C. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. *Commun. For. Rev.* 74, 306–314
- MUNGUÍA, R. J. 2003. Tasas de descomposición y liberación de nutrimentos de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y de hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* solas y e mezclas. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tesis de M.Sc. 82 p.
- MUÑOZ, C. Y. 2002. Disponibilidad de nutrimentos en tres compost. Tesis M.Sc. Turrialba, CATIE, Costa Rica. 67p.

- NAIR, P. K. R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, The Netherlands. 499 p.
- NEGI, G.C.S.; SINGH, S.P. 1993 Leaf nitrogen dynamics with particular reference to retranslocation in evergreen and deciduous tree species of Kumaun Himalaya. Can J For Res, 23: 349–357.
- NORTON, B. W.; ALAM, M.R. 1996. Nutritive value and animal production from fodder trees. Nitrogen Fixing Trees for Fodder Production - A Field Manual. Winrock International. 125 p.
- PALM, C. A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. Agroforestry systems, 30:105-124
- PALM, C.A; SÁNCHEZ, P.A. 1990. Decomposition and nutrient release of the leaves of three tropical legumes. Biotropica. 22:330-338.
- PARROTA, J.A. 1999. Productivity, nutrient cycling and succession in single and mixed species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta* and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. Forest Ecology and Management 124 (1999) 45-77
- PETIT, A. J. 1994. Árboles y arbustos forrajeros. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, Venezuela 174 p.
- PETIT, J.; CASANOVA, F.; SOLORIO, F. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos. Agricultura Técnica en México. 35 (11): 107-116.
- PEZO, D.; IBRAHIM, M. 1998. Sistemas Silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 2. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. 258 p.
- PHIRI, D.M.; COULMAN, B.; STEPPLER, H.A.; KAMARA, C.S; KWESIGA, F. 1992. The effect of browse supplementation on maize husk utilization by goats. Agroforestry Systems, 17:153-158.
- PIOTTO, D. 2008. A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. Forest Ecology and Management 255 (2008) 781–786. DOI:10.1016/j.foreco.2007.09.065

- PRESTON C.M; TROFYMOW J.A. 2000. Canadian Intersite Decomposition Experiment Working Group, Variability in litter quality and its relationship to litter decay in Canadian forests. *Canadian. of Journal of Botany*. 78:1269-1287.
- RAO, M.R.; NAIR, P.K.R.; ONG, C.K. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* 38, 3–50.
- RESH, S. C.; BINKLEY, D. PARROTTA, J.A. 2002. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with Eucalyptus species. *Ecosystems* 5, 217–231.
- REYNOLDS, B.C.; HUNTER, M.D. 2001. Responses of soil respiration, soil nutrients, and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. *Soil Biology & Biochemistry* 33:1641-1652.
- REYNOLDS, L.; ADEDIRAN, S.O. 1988. The effects of browse supplementation on the productivity of west African Dwarf sheep over two reproductive cycles. In: *Goat production in the humid tropics*. Edited by: Smith O.B and Bosman, H.G. PUDOC, Wageningen, Netherlands, pp. 83-91.
- ROSALES, M. Mezclas de forrajes: Uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas agroforestales Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica 145
- ROTHER, A.; BINKLEY, D. 2001. Nutritional interactions in mixed species forests: a synthesis. *Can. J. For. Res.* 31, 1855–1870.
- RUSO, R.O.; BOTERO, R. 1996. Nitrogen fixing trees and shrubs for animal production on acid soils. In *Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils: A Field Manual*. Ed. Mark E. Powell. Nitrogen Fixing Tree Association. Chapter 4. pp. 31-39.
- SANGINGA, N.; VANLAUWE, B.; DANSO, S.K.A., 1995. Management of biological N₂ fixation in alley cropping systems: estimation and contribution to N balance. *Plant Soil* 174, 119–141.
- SAUCEDO, J.; ALVAREZ, F.J.; JIMÉNEZ, N.; ARRIAGA, A.A. 1980. *Leucaena leucocephala* as a supplement for milk production on tropical pastures with dual purpose cattle. *Trop Anim Prod.* 6:284.

- SAUREZ, S.; RUBIO, J.; FRANCO, C.; VERA, R.; PIZARRO, E.A.; AMEZQUITA, M.C. 1987. *Leucaena leucocephala*: production and composition of milk and selection of ecotypes by grazing animals. *Pasturas Tropicales*;9:11-17.
- SCHROTH, G. 2003. Decomposition and nutrient supply from biomass *En* Schroth G. and Sinclair F. L.(Eds) *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*
- SINCLAIR, F. L. A. 1999. General classification of agroforestry practice. *Agroforestry Systems*. 46, (2):161-180.
- SOLORIO, S. F. J ; SOLORIO, S. B. 2002. Integrating fodder trees in to animal production systems in the tropics. *Tropical & Subtropical Agroecosystems*, 1: 1-11
- STÜR, W. W.; SHELTON, H. M.; GUTTERIDGE, R. C. 1994. Defoliation and management of forage tree legumes. In: Gutteridge, R. C.; Shelton, H. M., eds. *Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture*. Wallingford, G. B., CAB International. . 144- 157.
- SUNDARAPADIAN, S.M.; SWAMY, P.S. 1999. Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats, India. *Forest Ecology and Management* 123: 231-244.
- THEVATHASAN, N.V.; GORDON, A.M. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the north temperate region: experiences from southern Ontario. *Can. Agrofor. Syst.* 61, 257–268.
- THOMAS, R.J; ASAKAWA N.M. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 25(10): 1351-1361.
- THORNTON, P. K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Phil. Trans. R. Soc. B* 2010 **365**, 2853-2867. doi: 10.1098/rstb.2010.0134
- VANDERMEER, J., 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press, New York.
- WEINER, J., 1986. How competition for light and nutrients affects size variability in *Ipomea tricolor* populations. *Ecology* 67, 1425-1427.
- WEINER, J., 1990. Asymmetric competition in plant populations. *Tree* 5, 360-364.

- VILLELA, D. M.; PROCTOR, J. 1999. Litterfall mass, chemistry, and nutrient retranslocation in a monodominant forest on Maraca Island, Roraima, Brazil. *Biotropica* 31:198–211.
- VITOUSEK, P. M. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist* 119:553–572.
- WAHYUNI, S.Y.; KOMARA, E.S.; YATES, N.G.; OBST, J.M.; LOWRY, J.B. 1982. The performance of Ongole cattle offered either grass, sundried *Leucaena leucocephala* or varying proportions of each. *Trop Anim Prod.* 7:275-283.
- ZHANG, J.W., LIAO, L.P., LI, J.F., SU, Y., 1993. Litter dynamics of *Pinus massoniana* and *Michelia macclurei* mixed forest and its effect on soil nutrients. *Chin. J. Appl. Ecol.* 4 (4), 359–363.