



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 nutrimentos 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 nutrimentos 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

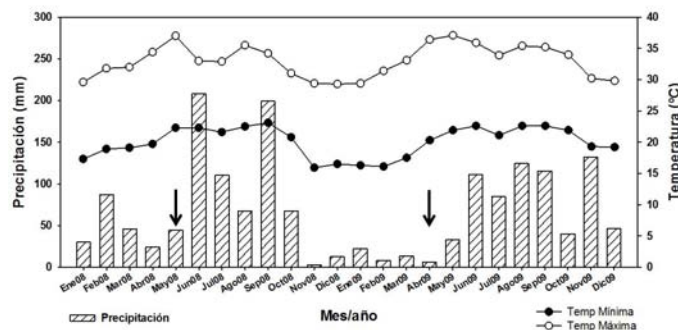


FIGURA 1. Precipitación, temperaturas máximas y mínimas en Mérida, Yucatán. Las flechas (↓) indican el periodo de muestreo. (Fuente: CONAGUA, 2010).

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

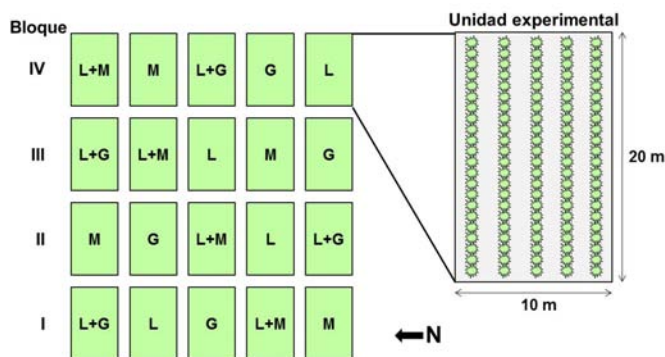


Figura 2. Arreglo experimental de las especies en estudio en el experimento. (L+M) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Moringa oleifera*; (L+G) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Guazuma ulmifolia*; (L) *Leucaena leucocephala* en monocultivo; (M) *Moringa oleifera* monocultivo y (G) *Guazuma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

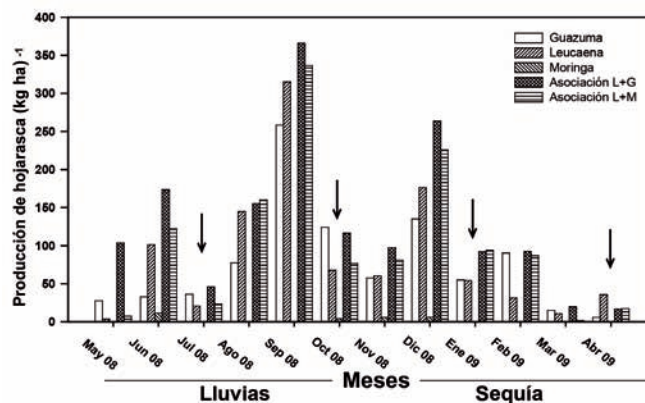


FIGURA 3. Dinámica mensual de la caída de hojarasca relacionada con los periodos de lluvias -sequía y el manejo del sistema. Las flechas (↓) indican la cosecha de follaje.

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* ($653.2 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) y el menor *M. oleifera* ($17.3 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) ambas en monocultivo. En cuanto a las asociaciones, el mayor aporte de hojarasca correspondió a *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* ($960.5 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1}$) y el menor a la asociación *L. leucocephala* con *M. oleifera* ($726.6 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$). 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 $1,542.7 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, 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 $13,700 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. También Sánchez *et al.* (2007) indican para *L. leucocephala* en un pastizal de *P. maximum* la producción de hojarasca de esta especie fue de $9,100 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, datos que contrastan con los reportados por Alonso *et al.* (2003) en un estudio de comparación de métodos de poda en un

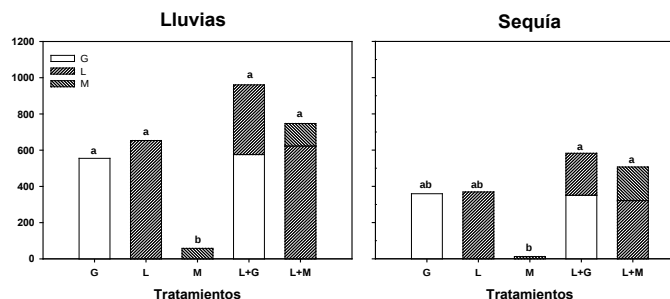


FIGURA 4. Producción de hojarasca en las épocas de lluvias y sequía de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($P \leq 0.05$)

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 mg·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 mg·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 mg·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 mg·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

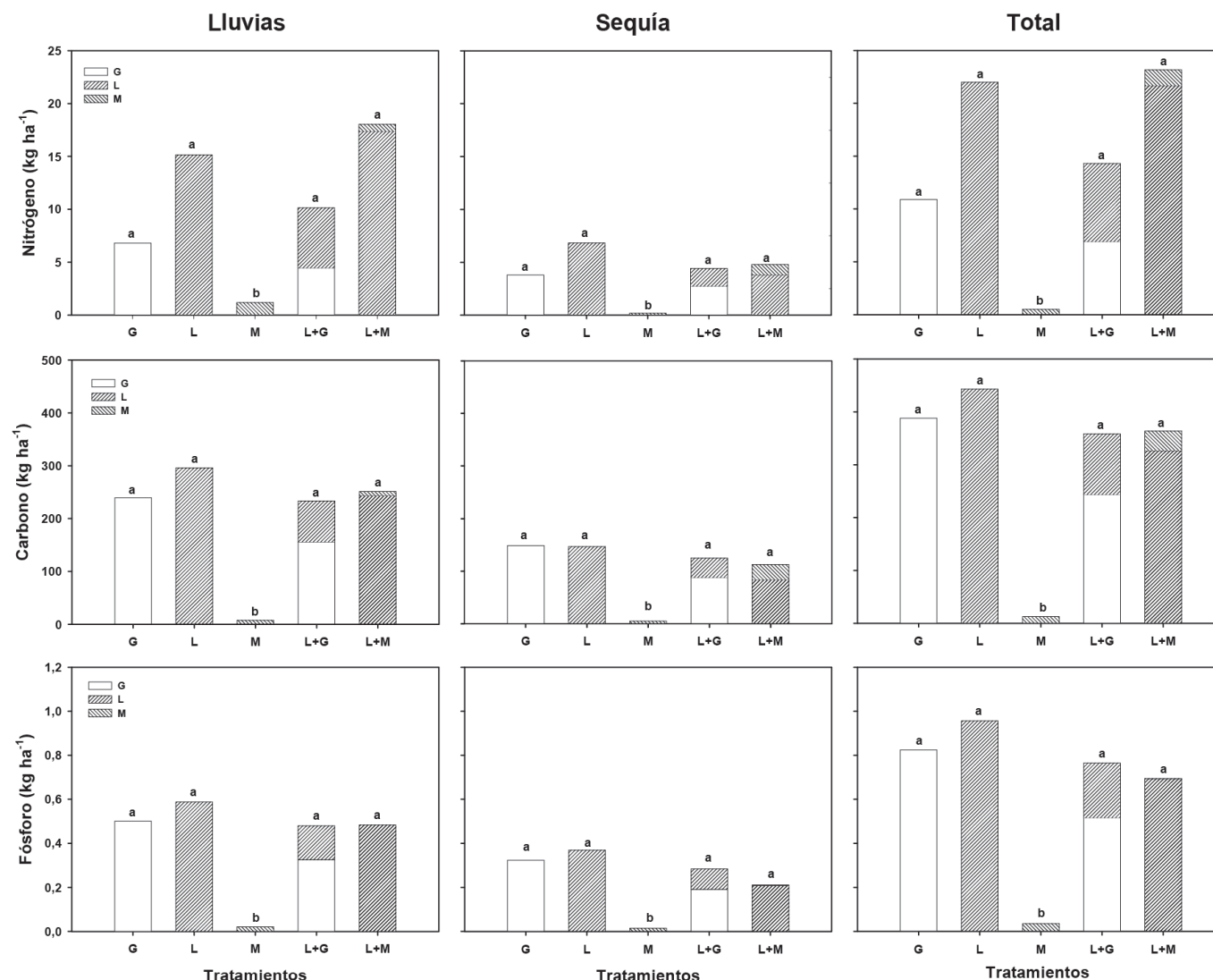


FIGURA 5. Aporte de nitrógeno, carbono y fósforo en la época de lluvias y sequía de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente ($P \leq 0.05$)

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 nutrimentos 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 nutrimentos 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.

La hojarasca al igual que la biomasa aérea y radical es otro reservorio de carbono, constituye la vía de entrada principal de los nutrimentos en el suelo, es esencial en el reciclado de la materia orgánica y los nutrimentos (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 nutrimentos 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 nutrimentos 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/OCOPY07/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
- JAMALUDHEEN, 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