



**ASOCIACIÓN DE ESPECIES LEÑOSAS EN BANCOS DE FORRAJE:
INFLUENCIA SOBRE EL APORTE DE HOJARASCA, DESCOMPOSICIÓN
Y LIBERACIÓN DE NITRÓGENO**

**[ASSOCIATION OF WOODY SPECIES IN FODDER BANKS: INFLUENCE
ON LITTER PRODUCTION, DECOMPOSITION AND NITROGEN
RELEASE]**

**Angélica Segura-Rosel¹, Fernando Casanova-Lugo^{1*},
Francisco J. Solorio-Sánchez¹, Alfonso J. Chay-Canul²**

¹*Cuerpo Académico de Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.*

²*División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa, Km 25, R/a. La Huasteca 2ª. Sección, Villahermosa, Tabasco, México
Email:fkzanov@gmail.com
Corresponding Author

RESUMEN

Se evaluó el aporte de hojarasca, descomposición y liberación de N del follaje de tres especies leñosas, *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera*, en bancos de forraje puros y la asociación de *L. leucocephala* + *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* + *M. oleifera*, como bancos de forraje mixto. Se utilizaron 20 parcelas (200 m²) en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La producción de hojarasca se estimó mediante el uso de trampas, instaladas en la hilera central de cada parcela. Para la descomposición se utilizaron hojas frescas de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia*, *M. oleifera*, y de las mezclas de éstas. Se utilizaron 120 litter bags de 30 × 30 cm cada una, distribuidas aleatoriamente dentro de las parcelas (6 bolsas por parcela). Se retiraron 2 bolsas de cada parcela a las 4, 8 y 16 semanas. El material remanente se pesó, secó, fue molido y se determinó el contenido de N. Para determinar la constante de descomposición (*k*), se utilizó el modelo $Y = a \cdot e^{-k \cdot t}$. El aporte de hojarasca acumulado fue diferente entre los tratamientos ($P < 0.05$). El banco de forraje de *L. leucocephala* + *G. ulmifolia* tuvo la mayor producción, mientras el de *M. oleifera* la menor. *L. leucocephala*, asociada con *G. ulmifolia* tuvo un menor aporte de hojarasca (385 kg MS ha⁻¹), que cuando se asoció con *M. oleifera* o se encontraba sola (623.3 y 653.2 kg MS ha⁻¹, respectivamente). *M. oleifera* asociada a *L. leucocephala*, incrementó su producción de hojarasca comparado con el monocultivo (124.1 vs. 58.0 kg MS ha⁻¹). A las 4 semanas, la hojarasca de los bancos de *M. oleifera*, *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* registraron una descomposición del 88, 76 y 73%, respectivamente; mientras que *L. leucocephala* + *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* + *M. oleifera* mostraron

una descomposición de 76 y 83%, respectivamente. Los bancos de forraje de *M. oleifera*, *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* liberaron a las 4 semanas el 90, 86 y 74% del N contenido en el follaje, respectivamente. La producción de hojarasca acumulada fue mayor en los bancos de forraje mixtos. La mayor descomposición se registró en los bancos que incluían a *M. oleifera*. La liberación de N del follaje, fue más rápida en los bancos de forraje puros.

Palabras clave: Bancos de forraje; ciclaje de nutrientes; especies arbóreas; época lluviosa

SUMMARY

The litter production, decomposition and N release from leaves of three woody species, *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* and *Moringa oleifera*, in pure fodder banks and the association of *L. leucocephala* + *G. ulmifolia* and *L. leucocephala* + *M. oleifera*, as mixed fodder banks, were evaluated. Twenty plots (200 m²) in a completely randomized block design with four replicates were used. Litter production was estimated using traps installed in the middle row of each plot. For decomposition, were used fresh leaves of *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* and their mixtures. 120 litter bags of 30 × 30 cm each were used and randomly distributed within the plots (6 bags per plot). Two bags were removed from each plot at 4, 8 and 16 weeks. The remained material was weighed, dried, ground and N content was determined. To determine decay constant (*k*), we used the model $Y = a \cdot e^{-k \cdot t}$. The litter accumulation was different among treatments ($P < 0.05$). The fodder banks of *L. leucocephala* + *G. ulmifolia* had the higher production, while that the *M. oleifera* bank had the minor. *L. leucocephala*, associate with *G. ulmifolia*

presented a lower litter production ($385 \text{ kg DM ha}^{-1}$), which when associated with *M. oleifera* or was alone (623.3 and $653.2 \text{ kg DM ha}^{-1}$, respectively). Litter production of *M. oleifera* associated with *L. leucocephala*, was superior, compared to monoculture (124.1 vs. $58.0 \text{ kg DM ha}^{-1}$). At 4 weeks, litter from the banks of *M. oleifera*, *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* registered a decomposition of 88, 76 and 73%, respectively; while *L. leucocephala* + *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* + *M. oleifera* showed a decomposition of 76 and 83%, respectively. Fodder

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales constituyen una forma de uso de la tierra en la que leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y/o animales bajo un esquema integral de manera temporal o secuencial (Nair *et al.*, 2008). Dichos sistemas constituyen un modelo ecológico prometedor, ya que promueven la biodiversidad, prosperan sin agroquímicos y con poca energía fósil, además, sostienen producciones de cultivos, árboles y animales todo el año (Nair, 2004). Dentro de este contexto, se encuentran los bancos de forraje mixtos de corte y acarreo; que son una tecnología agroforestal caracterizadas por la inclusión de especies leñosas; leguminosas y no-leguminosas en altas densidades y con un manejo proteccionista de los suelos (Giraldo *et al.*, 2011).

Algunos estudios en este tipo de sistemas se han enfocado a determinar la producción y calidad del forraje (Casanova *et al.*, 2010; Petit *et al.*, 2011). No obstante, se desconoce la cantidad de hojarasca que dichos sistemas pueden producir, así como los patrones de descomposición y liberación de nutrientes a partir de dicha biomasa. Este conocimiento puede contribuir a optimizar las prácticas de manejo y sostenibilidad de los sistemas, y permite proponer esquemas de manejo y recuperación de suelos. Por otro lado, se sabe poco del efecto de las mezclas de follaje sobre la dinámica y tasa de descomposición de la hojarasca (Wang *et al.*, 2008). El objetivo del presente estudio fue cuantificar la producción de hojarasca, la descomposición y liberación de N del follaje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en bancos de forraje mixtos y puros, establecidos bajo condiciones tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio y periodo de estudio

El presente estudio se realizó en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, localizada en el km 15.5 de la carretera Mérida-Xmatkuil. Se encuentra

banks of *M. oleifera*, *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* at 4 weeks, release the 90, 86 and 74% of the N content in their foliages, respectively. The accumulate litter production was higher in the mixed fodder banks. Most decomposition occurred in the banks that included *M. oleifera*. The N release from the foliage was faster in pure fodder banks.

Key words: Fodder banks; cycling of nutrients; woody species; rainy season

dentro de las coordenadas extremas $20^{\circ} 52' 3.86''$ latitud norte y $89^{\circ} 37' 20.05''$ longitud oeste (Figura 1). Dicha zona se encuentra dentro de la planicie cársica de Mérida, caracterizada por la presencia de un relieve plano, ligeramente ondulado. Los suelos son heterogéneos, rocosos (piedra caliza), arcillo-limosos y poco profundos, con un pH de 7.5 a 7.8 (Bautista *et al.*, 2005).

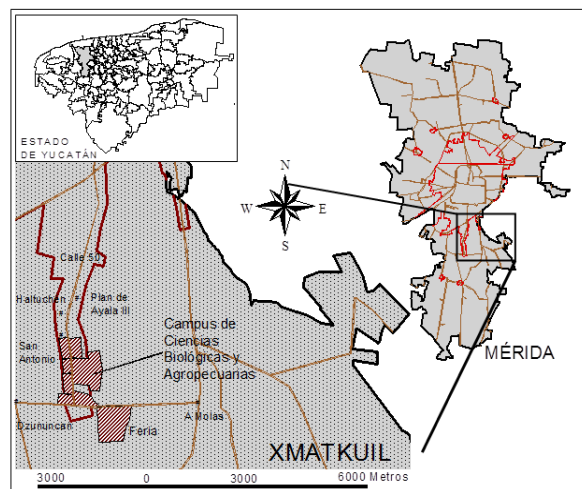


Figura 1. Ubicación del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, Xmatkuil, Yucatán, México.

El clima de la zona es Aw_0 (cálido subhúmedo con lluvias en verano), 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. La precipitación media es de 953 mm y el mes más lluvioso del año es septiembre (Duch, 1988). El presente estudio se realizó durante los meses de mayo a octubre de 2008. Los promedios de la precipitación y temperatura de este periodo se muestran en la Figura 2.

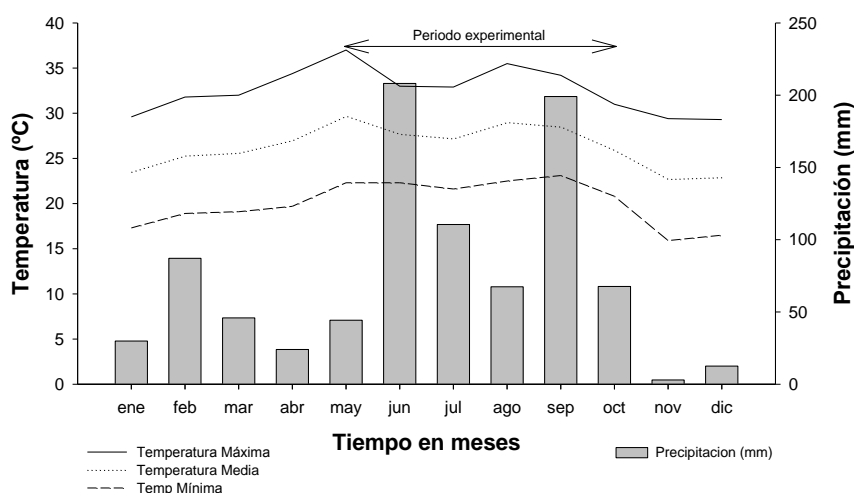


Figura 2. Precipitación y temperaturas promedio registradas durante el periodo experimental (Mayo a Octubre del 2008).

Manejo de las parcelas experimentales

Las parcelas experimentales se establecieron en el año 2002, en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Se han utilizado como bancos de forraje para corte y acarreo. Las podas que reciben las leñosas se realizan cuatro veces al año, y consisten en remover un 90% de la biomasa foliar (Solorio, 2005).

En el presente estudio, se utilizaron en total 20 parcelas de 20 × 10 m, conformadas por *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera*, en bancos de forraje puros y la asociación de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* con *M. oleifera*, como bancos de forraje mixto; las cuales fueron plantadas en hileras de 2.0 m y de 0.5 m entre plantas. En los bancos de forraje puros, cada posición de siembra contó con una planta, es decir se sembraron en total 100 plantas en cada parcela de monocultivo; mientras que, en los bancos de forraje mixto (e.g. leguminosa y no-leguminosa) cada posición contó con dos plantas, es decir; 200 plantas por parcela. Así, aunque la densidad de plantas en los bancos de forraje puros y mixtos fue de 10,000 y 20,000 plantas ha⁻¹, respectivamente, la densidad para cada especie fue constante (10,000 plantas ha⁻¹).

Producción de hojarasca

La producción de hojarasca se estimó mediante el uso de mallas o trampas, instaladas en cuatro árboles seleccionados aleatoriamente en la hilera central de cada parcela. En total se instalaron 20 trampas con un tamaño de 1 × 2 m (2.0 m²) a una altura de 50 cm del suelo, y se monitorearon cada semana para cuantificar la caída de hojarasca durante la época de lluvias. La hojarasca colectada fue seleccionada y separada por especie (el caso de las mezclas). Después, las muestras

fueron colocadas en bolsas de papel y fueron secadas en estufa con circulación de aire forzado, a 60°C durante 48 horas. Posteriormente, las muestras fueron pesadas en una balanza electrónica para estimar la producción en peso seco, y finalmente, los datos fueron extrapolados a unidades por hectárea (kg MS ha⁻¹).

Descomposición de follaje

La descomposición se realizó utilizando hojas frescas de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia*, *M. oleifera*, y de las mezclas de *L. leucocephala* con *M. oleifera* y de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*. Se utilizaron 120 bolsas de nylon con un tamaño 30 cm × 30 cm cada una, las cuáles fueron llenadas con las hojas frescas con el peso correspondiente a cada tratamiento, el cual se obtuvo con base en el contenido de agua de cada especie. A continuación se describe como fue el proceso de llenado de las bolsas, basándose en el peso del follaje fresco y su contenido de MS, con el objetivo de homologar el contenido en MS dentro de cada tratamiento:

- Una mezcla de 101 g de hojas frescas de *L. leucocephala* + *G. ulmifolia*, equivalente a 41 g MS (20.5 + 20.5 g MS, respectivamente).
- 100 g de hojas frescas de *L. leucocephala*, equivalente a 39 g MS.
- 100 g de hojas frescas de *G. ulmifolia*, equivalente a 42 g MS.
- Una mezcla de 119 g de hojas frescas de *L. leucocephala* + *M. oleifera*, equivalente a 39 g de materia seca (21 + 18 g MS, respectivamente).
- 136 g de hojas frescas de *Moringa*, equivalente a 35 g MS

Posteriormente, las bolsas fueron distribuidas aleatoriamente dentro de las parcelas, en este caso fueron 6 bolsas por cada parcela experimental. En cada fecha establecida (4, 8 y 16 semanas), se retiraron 2 bolsas de cada parcela, a las que se les extrajo el material, se limpió cuidadosamente removiendo cualquier residuo de suelo u otro material orgánico y posteriormente fueron pesadas. En el caso del tratamiento que contenían las mezclas de las especies, estas fueron separadas y pesadas de manera individual. Todas las muestras se secaron en una estufa de circulación de aire forzado a 60 °C hasta peso constante durante 48 horas, la cantidad obtenida se registró como peso seco del material remanente. Con base en lo anterior, se calculó el porcentaje de masa remanente (*MR*) de acuerdo a la Ecuación 1:

$$MR (\%) = \frac{M_t}{M_i} \times 100 \quad [1]$$

Dónde *MR* es la masa remanente; *M_t* es el peso seco del material remanente en el tiempo *t*; *M_i* es el peso inicial del material verde.

La constante de descomposición *k*, fue calculada con la Ecuación 2:

$$\ln = \frac{M_i}{M_t} = k \cdot t \quad [2]$$

Dónde *M_i* es la masa en el tiempo cero; *M_t* es la masa en el tiempo *t*; *t* es el tiempo de incubación (semanas) y *k* se refiere a la constante de descomposición. Para determinar la constante de descomposición exponencial (*k*), se utilizó el modelo exponencial simple de acuerdo a la Ecuación 3 (Teklay *et al.*, 2007):

$$Y = a \cdot e^{-k \cdot t} \quad [3]$$

Dónde: *Y*, es la cantidad de material remanente o nutriente a un tiempo determinado (*t*); *a*, es la cantidad de material aplicado (peso seco inicial); *e*, es la base del logaritmo natural; y *k*, es la constante de descomposición.

Finalmente, las muestras fueron molidas hasta partículas menores de 0.5 mm y fueron llevadas al laboratorio donde se determinó el contenido de N por el método de micro-Keldajh según la AOAC (1990), con el fin de estimar la liberación potencial de dicho elemento al suelo.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza con ayuda del paquete estadístico Statgraphics ver. 5.1®, para determinar diferencias entre los bancos de forraje evaluados. Cuando se presentaron diferencias significativas se aplicó la

prueba de comparación de medias de Tukey, al 5% de error.

RESULTADOS

Producción de hojarasca

El banco de forraje de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* presentó la mejor producción de hojarasca para casi todos los meses, excepto para agosto, cuando el banco de forraje de *L. leucocephala* y *M. oleifera* tuvo la mayor producción (Figura 3). El banco de forraje puro de *M. oleifera* tuvo una baja producción en comparación con los demás tratamientos excepto en el mes de junio cuando el banco de forraje de *G. ulmifolia* mostró un menor aporte de hojarasca. Por otra parte, en el mes de septiembre se registró el mayor aporte promedio de hojarasca con 255.7 kg MS ha⁻¹, mientras el mes de julio tuvo la menor producción promedio con 25.8 kg MS ha⁻¹.

Del mismo modo, se observó que el aporte de hojarasca acumulado durante el periodo experimental, fue diferente entre los tratamientos (*P* < 0.05). El banco de forraje mixto de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, tuvo la mayor producción, mientras el banco puro de *M. oleifera*, la menor producción (Cuadro 1). El análisis para cada especie indicó que *L. leucocephala* tuvo un efecto asociativo, es decir, cuando esta especie fue asociada con *G. ulmifolia* tuvo un menor aporte de hojarasca (385 kg MS ha⁻¹), que cuando se asoció con *M. oleifera* o se encontraba sola (623.3 y 653.2 kg MS ha⁻¹, respectivamente). En el caso de *G. ulmifolia*, no se encontró efecto asociativo con *L. leucocephala*, ya que su producción fue similar, con valores de 555.5 y 575.5 kg MS ha⁻¹, para el banco puro y mixto, respectivamente (*P* > 0.05). No obstante, *M. oleifera* mostró un efecto positivo (*P* < 0.05), dado que al asociarla con *L. leucocephala* incrementó su producción de hojarasca en comparación con el monocultivo (124.1 vs. 58.0 kg MS ha⁻¹), tal como se aprecia en el Cuadro 1.

Descomposición de follaje y patrones de liberación

Los resultados del presente estudio indican que a las 4 semanas, los bancos de forraje puros de *M. oleifera*, *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*, tuvieron una descomposición del 88, 76 y 73%, respectivamente. Los bancos de forraje mixtos de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* y de *L. leucocephala* con *M. oleifera*, mostraron una descomposición de 76 y 83%, respectivamente. A las 8 semanas el banco puro de *M. oleifera* y el mixto de *L. leucocephala* con *M. oleifera* mostraron una descomposición del 95% del follaje; mientras que el banco de forraje puro de *G. ulmifolia* tuvo una descomposición del 91%. A las 16 semanas, el banco de forraje mixto de *L. leucocephala* con *M. oleifera* mostró una descomposición del 97%, seguido del banco de forraje puro *M. oleifera* (96%), mientras

que el banco de forraje puro de *L. leucocephala*, presentó una descomposición del orden del 92% (Figura 4).

Por otra parte, a las 4 semanas, los bancos de forraje puros de *M. oleifera*, *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* liberaron el 90, 86 y 74% del N contenido en el follaje, respectivamente (Figura 5). No obstante, los bancos de forrajes mixtos de *L. leucocephala* con *M. oleifera* y *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, liberaron un 66 y 51% de este elemento, respectivamente. Esta misma tendencia se observó a las 8 semanas de descomposición dado que los bancos de forraje puros liberaron entre el 91 y 93% del N contenido en el follaje, mientras que los bancos de forraje mixtos liberaron entre el 86 y 88%. Al final de período experimental (16 semanas), la mayor liberación la alcanzó el banco de forraje puro de *M. oleifera* con un 96% y la menor fue para el banco de forraje mixto de *L. leucocephala* con *M. oleifera* con un 87% (Figura 5).

En el Cuadro 2 se muestra la constante de descomposición (k), y los coeficientes de regresión (R^2) que explican el proceso de descomposición del follaje, considerados como la pérdida de masa y la liberación de N.

Para la pérdida de masa, los bancos de forraje puros tuvieron valores de k que fluctuaron entre -0.31 y -0.42, a diferencia de los bancos de forraje mixto que obtuvieron valores de -0.33 y -0.40. Se observó que el banco de forraje puro de *M. oleifera* favoreció la pérdida de masa del follaje, de hecho, mostró valores de k similares cuando estuvo asociada con *L. leucocephala*. Adicionalmente, los modelos de regresión obtenidos para la pérdida de masa presentaron una R^2 de 0.99 y 0.98, para los bancos de forraje puros y mixtos, respectivamente (Cuadro 2).

Por otra parte, los bancos de forraje puros tuvieron un valor de k en el orden de -0.31 a -0.51, relacionados con la liberación de N, mientras que en los bancos de forraje mixtos tuvieron un valor de k de -0.20 a -0.25. Lo anterior indica que conforme más alto sea el valor de la constante (más negativo) la liberación de N es más rápida, como en el caso del banco de forraje puro de *M. oleifera*. Asimismo, los modelos de regresión para la liberación de N presentaron una R^2 de 0.99 y 0.97 para los bancos de forraje puros y mixtos, respectivamente (Cuadro 2).

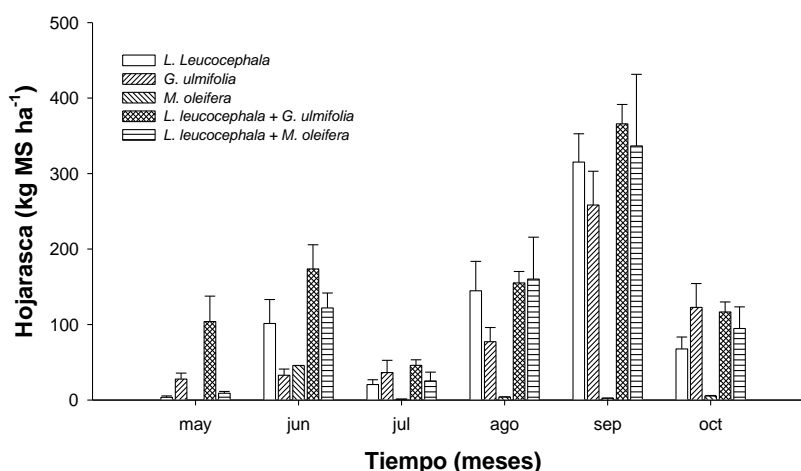


Figura 3. Dinámica de la producción de hojarasca en bancos de forraje mixtos y puros, durante la época de lluvias (mayo a octubre de 2008).

Cuadro 1. Aporte de hojarasca acumulada y por especie (kg MS ha⁻¹) en bancos de forraje mixtos y puros.

Bancos de forraje	Especies			Producción acumulada
	<i>L. Leucocephala</i>	<i>G. ulmifolia</i>	<i>M. oleifera</i>	
<i>L. Leucocephala</i>	653.2 ± 76.7 ^a	--	--	653.2 ± 76.7 ^b
<i>G. ulmifolia</i>	--	555.5 ± 32.1 ^a	--	555.2 ± 32.1 ^b
<i>M. oleifera</i>	--	--	58.0 ± 0.7 ^b	58.0 ± 0.7 ^c
<i>L. Leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	385.0 ± 91.6 ^b	575.5 ± 64.0 ^a	--	960.5 ± 156.0 ^a
<i>L. Leucocephala</i> + <i>M. oleifera</i>	623.3 ± 220.6 ^a	--	124.1 ± 6.5 ^a	747.4 ± 227.1 ^{ab}

*Medias ± error estándar con literales distintas difieren estadísticamente en cada columna ($P < 0.05$).

DISCUSIÓN

Producción de hojarasca

La lluvia fue un factor importante en la caída de hojarasca, ya que el mes de septiembre tuvo la mayor producción acumulada y presentó también la mayor precipitación. El mes de julio tuvo la menor producción promedio de hojarasca, pero no fue el mes con menor precipitación. Esto pudiera deberse a otro factor importante que son las podas que se realizaron durante el período experimental, cuando se retiró un 90% del follaje de las plantas durante los meses de abril, julio y octubre que coinciden con los meses de menor producción que fueron mayo, julio y octubre. Estos resultados son similares con los reportados por Bonilla *et al.* (2008), quienes en un banco de forraje de *Leucaena sp.*, encontraron que la máxima producción de hojarasca fue durante los meses de diciembre y junio, época precedida por los meses de mayor precipitación. Por su parte Enríquez *et al.* (2005), reportaron que la producción de hojarasca de *L. leucocephala* fue mayor durante la época de lluvias comparado con la época de secas. Petit *et al.* (2011) reportaron esta misma situación para diversos bancos de forraje de especies leñosas en condiciones tropicales, por lo que se podría establecer que existe una relación entre la producción de hojarasca y la presencia de lluvias, lo que podría deberse a que las precipitaciones de elevada intensidad suelen estar acompañadas de vientos de gran velocidad, y el impacto de las gotas de lluvia ocasionan mayor desprendimiento de las hojas de los árboles (Huber y Oyarzum, 1983).

Los bancos de forraje mixtos tuvieron una mayor producción de hojarasca, en comparación con los bancos de forraje puros, esto pudiera deberse a la mayor densidad de plantas presente en el sistema de cultivo asociado comparada con el cultivo puro (20,000 vs. 10,000 plantas respectivamente). Otro factor que pudo haber intervenido en la producción, es la asociación de especies leguminosas y no-leguminosas, que puede favorecer la producción del sistema en su conjunto. Por ejemplo, cuando *M. oleífera* se asoció con *L. leucocephala*, la producción de hojarasca fue mayor que cuando estuvo en monocultivo, por lo que *M. oleífera* pudo haberse beneficiado de la asociación, ya que esta leguminosa desarrolla una raíz principal profunda, que le permite competir por los recursos con las otras especies (Casanova *et al.*, 2010).

En diversos estudios, se ha observado que la inclusión de leguminosas arbustivas, mejora las condiciones micro-climáticas para los cultivos, e incrementa la fijación de N, que puede ser aprovechado por las otras especies no fijadoras para su crecimiento, y por tanto mejora la calidad y producción de hojarasca (Lock,

2005; Petit *et al.*, 2009). No obstante, en el caso del banco de forraje mixto de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* se apreció lo contrario, debido a que la leguminosa redujo su producción de hojarasca, lo que posiblemente fue provocado por una fuerte competencia por los recursos disponibles en el medio (e.g. luz, agua y nutrientes), tal como reporta Casanova *et al.* (2010).

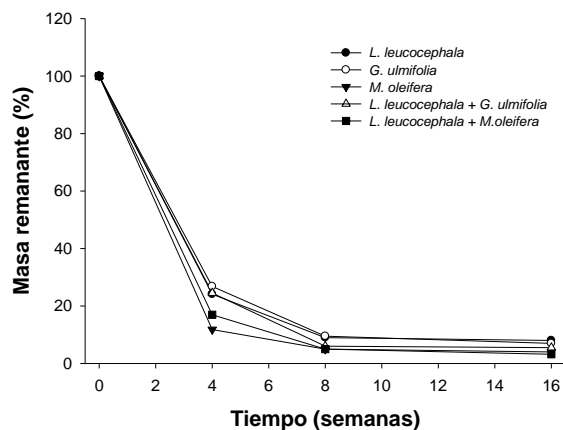


Figura 4. Masa remanente del follaje de tres especies arbóreas en bancos de forraje mixtos y puros durante la época de lluvias.

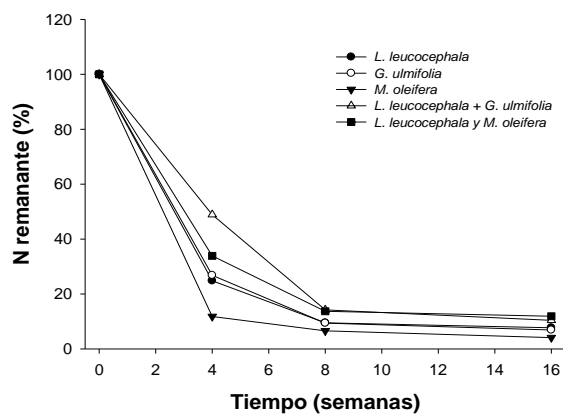


Figura 5. Liberación potencial de N del follaje de tres especies arbóreas en bancos de forraje mixtos y puros durante la época de lluvias.

Descomposición de follaje y patrones de liberación

La mayor velocidad de descomposición ocurrió a las primeras 4 semanas en todos los tratamientos (aproximadamente el 80%) (Figura 4). Esto pudiera deberse a la acción de la micro-fauna del suelo ya que varios autores señalan que durante las fases iniciales, la descomposición es mucho más rápida al degradarse las sustancias más lábiles (elementos solubles y carbohidratos), esto origina un aumento en el tiempo de degradación de las fracciones menos lábiles de la hojarasca, como la lignina, celulosa y metabolitos

secundarios (i.e. taninos, fenoles, alcaloides, saponinas, entre otros), lo que reduce la velocidad de descomposición (Berg, 2000; Preston y Trofymow, 2000; Teklay, 2007).

Lo anterior concuerda con lo reportado por Reynolds y Hunter (2001), quienes señalan que en la fase inicial la descomposición es rápida, por la acción de la macrofauna encargada de fragmentar físicamente los residuos vegetales que mejora las condiciones del material, para que la micro-fauna pueda continuar con el proceso de descomposición. La fase final es más lenta debido a que es llevada a cabo por hongos y bacterias del suelo (Reynolds y Hunter, 2001).

Otro factor importante es la composición química de la hojarasca, que está estrechamente relacionada con la descomposición (Mafongoya *et al.*, 1998; Preston y Trofymow, 2000; Teklay, 2007).

En este estudio, se observó que el banco de forraje mixto de *L. leucocephala* con *M. oleífera* fue el tratamiento que tuvo una mayor pérdida de masa (97%), a diferencia del banco de forraje puro de *L. leucocephala*, que tuvo la menor (92%), lo anterior pudiera estar relacionado con la relación C:N de las mezclas de follaje.

Al respecto, Martín y Rivera (2004) y Mafongoya *et al.* (1998), señalan que la relación C:N podría ayudar a explicar la descomposición de la hojarasca; especies con alta relación C:N (>25) requerirán mayor tiempo para su degradación en el suelo, a diferencia de las especies con una baja relación C:N. Esto concuerda con lo reportado por Petit-Aldana *et al.* (2011), quienes indican que la mezcla del follaje de *L. leucocephala* con *M. oleífera* tuvo una relación C:N de

15, mientras que para el follaje de *L. leucocephala* fue mayor (20). Por su parte, Vanlauwe *et al.* (1997) encontró que, en un sistema de cultivo mixto la hojarasca de *Leucaena spp.*, logró su total descomposición a los 112 días y este proceso fue más rápido debido a la menor relación C:N, mientras el pasto *Senna siamea* presentó mayor relación C:N y por lo tanto una menor descomposición.

Otro factor importante a considerar son las precipitaciones que se presentaron durante el período experimental, esto pudo tener efecto en la tasa de descomposición, ya que la lluvia pudo favorecer el lavado de los compuestos más hidrosolubles, y las condiciones de humedad fueron favorables para la actividad de la biota responsable de la descomposición. En este contexto, Salazar (2008), reporta que en un bosque conformado por *Castanea sativa* y *Quercus pyreanica* en el período con baja humedad, en la capa superficial del suelo, el proceso de descomposición se hizo más lento, pero la época de lluvias favoreció la actividad de microbiana del suelo y se produjeron pérdidas significativas de material vegetal.

La liberación de N es el término que se refiere a 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; Petit *et al.*, 2011). La liberación de N, está dada por la diferencia entre la fracción inicial de este elemento y el contenido remanente en el material vegetal (Mafongoya *et al.*, 1998).

Cuadro 2. Ecuaciones de regresión no-lineal ($Y = a \cdot e^{-k \cdot t}$) para estimar la pérdida de masa y N del follaje de especies arbóreas en bancos de forraje mixtos y puros.

Bancos de forraje	<i>a</i>	EE	<i>k</i>	EE	R ²	DER	<i>P</i>
Masa remanente							
<i>L. leucocephala</i>	99.7	5.6	-0.31	0.05	0.99	5.72	0.004
<i>G. ulmifolia</i>	99.8	4.6	-0.34	0.04	0.99	4.73	0.004
<i>M. oleífera</i>	99.8	3.7	-0.42	0.07	0.99	3.75	0.002
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	99.9	3.5	-0.33	0.04	0.98	3.63	0.002
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleífera</i>	99.9	2.6	-0.40	0.04	0.97	2.61	0.001
N remanente							
<i>L. leucocephala</i>	99.7	5.4	-0.33	0.05	0.98	5.52	0.005
<i>G. ulmifolia</i>	99.7	4.6	-0.31	0.03	0.99	4.70	0.004
<i>M. oleífera</i>	99.9	4.3	-0.51	0.08	0.99	4.60	0.003
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	100.5	6.6	-0.20	0.03	0.97	6.75	0.009
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleífera</i>	99.4	7.2	-0.25	0.04	0.97	7.40	0.010

a, indica el intercepto; EE, error estándar; *k*, constante de descomposición; R², coeficiente de determinación; DER, desviación estándar residual; y *P*, probabilidad.

Los resultados muestran, que la mayor liberación de N fue de aproximadamente el 70%, a las primeras 4 semanas, en todos los tratamientos (Figura 5). El follaje del banco de forraje puro de *M. oleifera*, liberó el N con mayor velocidad que los otros bancos evaluados, esto pudiera deberse a que esta especie posee un bajo contenido de lignina, a diferencia de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*, a que la micro-fauna del suelo degradó con mayor rapidez el follaje y liberó en menor tiempo dicho elemento. Lo anterior ha sido reportado por Swift *et al.* (1979), quienes mencionan que la hojarasca con bajo contenido de lignina y alta concentración de N, se descompone más rápidamente que aquellas que poseen alto contenido de lignina y baja concentración N. Del mismo modo, se ha reportado que a pesar de que el follaje de *L. leucocephala* posee una alta concentración de N, también tiene una fracción considerable de lignina, con relación a *G. ulmifolia* y *M. oleifera* (Lizarraga *et al.*, 2001; Petit *et al.*, 2011), lo que pudiera explicar la lenta descomposición del follaje y la lenta liberación de N al suelo (Fioretto *et al.*, 1998).

Semwal *et al.*, (2003) argumentan, que el régimen de precipitación afecta la liberación de nutrientes, estos autores reportan que en una plantación mixta, conformada por árboles de uso múltiple como *Alnus nepalensis*, *Albizia lebbek*, *Boehmeria rugulosa*, *Dalbergia sissoo*, *Ficus glomerata* y *F. roxburghii*, las tasas más altas de liberación de N y P, se produjeron durante la temporada de lluvias.

En este estudio, sólo se cuenta con información de la época de lluvias, y se observó que la liberación de N fue mucho más lenta en los bancos de forraje mixto en comparación con los bancos de forraje puros; esto difiere de lo reportado por Wang *et al.* (2008), quienes reportan que en plantaciones puras de *Cunninghamia lanceolata* y *Michelia macclurei*, al Sur de China, asimismo, la liberación de N fue tardía (47% al 66%), en comparación con la plantaciones mixtas donde fue más rápida. Estos autores afirman que la liberación es influenciada también por las características químicas de las especies, así como la edad de los árboles y los regímenes de humedad del sitio.

CONCLUSIONES

La producción de hojarasca acumulada fue mayor en los bancos de forraje mixtos que en los bancos de forraje puros. La mayor descomposición o pérdida de masa fue para los bancos que incluían a la *M. oleifera*, mientras que el banco de forraje puro de *L. leucocephala* tuvo la menor. La liberación de N del follaje fue más rápida en los bancos de forraje puros que en los bancos de forraje mixtos. El banco de forraje puro de *M. oleifera*, liberó en menos tiempo el contenido de N del follaje, mientras que el banco de forraje mixto de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* fue

más lento. En general, a las primeras 4 semanas se observó la mayor descomposición (pérdida de masa) y liberación de N con el 80% y 70%, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PROMEP-103.5/07/2418 por el financiamiento de otorgado para la realización del presente estudio. También se agradece al Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, por haber permitido el uso de las instalaciones y equipos.

REFERENCIAS

- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2 ed. New York, J. Wiley. 474p.
- Association of Official and Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official methods of analysis. 15th ed. AOAC, Washington, DC.
- Bautista, F., Palma-López, D., Huchin-Malta, W. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán. In: Bautista F.; Palacio G. (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. Pp. 105- 122.
- Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133: 13-22.
- Bonilla, R., Roncallo, B., Jimeno, J., García, T. 2008. Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, César. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2): 5-11.
- Casanova, F., Ramírez, L., 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.
- Duch G.J. 1988. La conformación territorial del estado de Yucatán. Universidad Autónoma Chapingo. México, 427 p.
- Enríquez, J.F., Hernández, G.A., Quero, A.R. 2005. Agronomic evaluation of twenty ecotypes of *Leucaena* spp. for acid soil conditions in Mexico. *Tropical Grasslands*. 39 (4): 230.
- Fioretto, A., Musacchio, A., Andolfi, G., De santo, A.V. 1998. Decomposition dynamics of litters of various pine species in a Corsican pine forest. *Soil Biology Biochemistry*, 30: 721-727.

- Giraldo, J., Sinisterra, J.A., Murgueitio, E. 2011. Árboles y arbustos forrajeros en policultivos para la producción campesina: Bancos Forrajeros Mixtos. LEISA Revista de Agroecología, 27(2): 15-18.
- Huber, A., Oyarzum, C. 1983. Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológicos en un bosque de *Pinus radiata* (D. Don). Bosque, 5 (1): 1- 11.
- Lizárraga, H., Solorio, F., 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.
- Lock, S. 2005. Estudio y selección de indicadores de la estabilidad en el sistema suelo-planta en pastizales en explotación. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Instituto de ciencia animal. La Habana. 130 p.
- Mafongoya, P., Giller, K., Palm, C. 1998. Decomposition and nutrient release patterns of prunings and litter of agroforestry trees. Agroforestry Systems, 38: 77-97.
- Nair, P.K.R., Gordon, A.M., Mosquera-Losada, M.R. 2008. Agroforestry. In: Jorgensen S.E., Fath B.D. (eds). Ecological Engineering. Encyclopedia of Ecology, Vol. 1, Elsevier, Oxford, U.K., pp. 101-110.
- Nair, P.K.R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, the Netherlands.
- Palm, C.A., Sánchez, P.A. 1990. Decomposition and nutrient release of the leaves of three tropical legumes. Biotropica, 22: 330-338.
- Petit, J., Casanova, F., Solorio, F., Ramírez, L. 2011. Producción y calidad de hojarasca en bancos de forraje puros y mixtos en Yucatán, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (RCSCFA), 17(1): 165-178.
- Petit, J., Casanova, F., 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): 161-167.
- 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.
- Preston, M., Trofimow, J. 2000. Variability in litter quality and its relationship to litter decay in Canadian forest. Canadian Journal of Botany, 78: 1269-1287.
- Reynolds, B., Hunter, M. 2001. Responses of soil respiration, soil nutrients and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. Soil Biology Biochemistry, 33: 1641-1652.
- Salazar, S. 2008. Estudios de procesos ecológicos para el desarrollo sostenible del castaño (*Castanea sativa* Mill.) de la sierra de Francia. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad de Salamanca, España.
- Semwal, R.L., Maikhuri, R.K., Rao, K.S., Sen, K.K., 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.
- Solorio, F.J. 2005. Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non-leguminous shrubs. Tesis de Doctorado, Universidad de Edimburgo. Edimburgo, Escocia.
- Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California. U.S.A. 372 pp.
- Teklay, T. 2007. Decomposition and nutrient release from pruning residues of two indigenous agroforestry species during the wet and dry seasons. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 77: 115-126.
- Vanlauwe, B., Sanginga, N., Merckx, R. 1997. Decomposition of four *Leucaena* and *Senna* prunings in alley cropping systems under sub-humid tropical conditions. The process and its modifiers. Soil Biology Biochemistry, 29 (2): 131-137.
- 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.