



DESCOMPOSICIÓN Y LIBERACIÓN DE NITRÓGENO Y MATERIA ORGÁNICA EN HOJAS DE *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. Y *Moringa oleifera* Lam. EN UN BANCO MIXTO DE FORRAJE

DECOMPOSITION AND NUTRIENT RELEASE PATTERNS OF LEAVES OF *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. AND *Moringa oleifera* Lam. IN A MIXED FODDER BANK

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

^{1,3}Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, VENEZUELA. Correo-e: jcpetita@ula.ve (¹Autor para correspondencia).

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

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

RESUMEN

Se evaluaron las tasas de descomposición, la liberación de N y MO en hojas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam. en un banco mixto de forraje en Yucatán, México, en las épocas de lluvias y sequía, en un diseño de bloques completos al azar, cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Se llenaron 120 bolsas con hojas frescas de las especies colectadas, y se colocaron en cada unidad experimental. Se evaluaron tres periodos de incubación para cada tratamiento: cuatro, ocho, y 16 semanas por cada época. A finales del experimento se observó que el proceso de descomposición fue más rápido en la temporada de lluvias. La pérdida de peso y la liberación de N y MO fueron más aceleradas en *M. oleifera* en monocultivo y en la asociación *L. leucocephala* con *M. oleifera*. Los patrones de descomposición de todas las especies siguieron el modelo exponencial simple, con más del 80 % de la masa inicial incorporada al final del periodo de estudio. Se concluye que *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo y asociadas, demostraron su capacidad para producir considerables cantidades de materia orgánica y liberar importantes cantidades de N en cortos periodos.

Recibido: 18 de marzo, 2011
Aceptado: 30 de noviembre, 2011
DOI: 10.5154/r.rchscfa.2011.03.025
<http://www.chapingo.mx/revistas>

PALABRAS CLAVE: Agroforestería, forraje, descomposición, química del follaje, nitrógeno, materia orgánica.

ABSTRACT

Decomposition rates and nitrogen (N) and organic matter (OM) release patterns of leaves of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Moringa oleifera* Lam. in a mixed fodder bank in Yucatán, Mexico, in the rainy and dry seasons, were assessed. The experimental units were formed in a randomized complete block design with five treatments and four replicates. A total of 120 litterbags were filled with fresh leaves of the species collected and placed in each experimental unit. We assessed three incubation periods per treatment: four, eight and 16 weeks for each season (rainy and dry). At the end of the experiment, it was apparent that the decomposition process was faster in the rainy season. Weight loss and N and OM release were faster in *M. oleifera* in monoculture and *L. leucocephala* and *M. oleifera* mixed. The decomposition patterns of all species followed the simple exponential model, with more than 80 % of the initial mass incorporated by the end of the study period. We concluded that *G. ulmifolia*, *L. leucocephala*, and *M. oleifera* in monoculture and mixtures demonstrated their ability to produce considerable amounts of OM and release significant amounts of N in short periods.

KEY WORDS: Agroforestry, fodder, decomposition, leaf litter chemistry, nitrogen, organic matter.

INTRODUCCIÓN

La descomposición consiste en una serie de procesos físicos y químicos por medio de los cuales la hojarasca y el follaje se reducen a sus constituyentes quí-

INTRODUCTION

Decomposition refers to a series of physical and chemical processes by which litter and foliage are reduced to their elemental chemical constituents (Aerts,

micos elementales (Aerts, 1997), lo cual constituye uno de los hechos más importantes en los ecosistemas por su aporte de nutrimentos al suelo (Aber y Melillo, 1991).

Se considera que la agroforestería permite mantener un reciclaje de nutrimentos más eficaz que la agricultura. Esta hipótesis se basa en parte en estudios sobre el reciclaje eficiente de los nutrimentos de la hojarasca de los árboles en ecosistemas naturales, así como en el supuesto de que en los sistemas agroforestales los árboles transfieren igualmente los nutrimentos a los cultivos intercalados. Actualmente, se le está dando una mayor importancia al estudio del aporte de minerales a través de la descomposición de materia orgánica que ofrecen los árboles de especies leguminosas y no leguminosas en los sistemas agroforestales. Los árboles son capaces de mantener o aumentar la fertilidad de los suelos a través del reciclaje de nutrimentos; es decir, logran el mantenimiento de la materia orgánica del suelo por medio de la producción y descomposición de hojarasca y de los residuos de podas (Mafongoya *et al.*, 1998; Palm y Sánchez, 1990).

Las tasas de descomposición son un indicador de la funcionalidad de los procesos de los ecosistemas en el suelo y de los ciclos de nutrimentos, que incluyen descomposición de la hojarasca y el aporte de nutrimentos y en el que los organismos del suelo desempeñan un papel central (Tian y Badejo, 2001).

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

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el área de agroecología del campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, durante el periodo de mayo de 2008 a abril de 2009. La zona presenta un clima Aw_0 según la clasificación de Köppen modificada por García (1988), con una precipitación promedio anual de 953 mm, concentrándose de junio a octubre el 82 % de las precipitaciones. En la Figura 1 se muestran la precipitación (mm) y las temperaturas mínimas y máximas presentadas durante el periodo experimental, que va de mayo de 2008 a abril de 2009.

La temperatura media anual es de 26.5 °C, siendo el mes de abril el más caluroso, ya que se alcanzan temperaturas máximas de 38 °C y mínimas de 22.3 °C;

1997), which is one of the most important features in ecosystems as it supplies nutrients to the soil (Aber and Melillo, 1991).

Agroforestry is believed to promote more efficient nutrient recycling than agriculture. This hypothesis is based in part on studies on the efficient recycling of tree litter nutrients in natural ecosystems, and on the assumption that trees in agroforestry systems transfer nutrients equally to interspersed crops. Currently, greater importance is being given to the study of the mineral supply through the decomposition of organic matter provided by leguminous and non-leguminous tree species in agroforestry systems. Trees are able to maintain or increase soil fertility through nutrient recycling, i.e., they are able to maintain soil organic matter through the production and decomposition of litter and pruning residues (Mafongoya *et al.*, 1998; Palm and Sánchez, 1990).

Decomposition rates are an indicator of the functionality of ecosystem processes in the soil and of nutrient cycles, including litter decomposition and nutrient supply and in which soil organisms play a central role (Tian and Badejo, 2001).

While much research has been generated around the incorporation of fodder species into silvopastoral systems, there is little information available on the process of decomposition and mineralization; therefore, the aim of this work was to study the decomposition rates and the N and OM release patterns in leaves of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Moringa oleifera* Lam. in a mixed fodder bank in Yucatán, Mexico.

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 May 2008 to April 2009. The area has an Aw_0 climate, according to Köppen's system modified by García (1988), with mean annual rainfall of 953 mm and with 82 % of the precipitation concentrated from June to October. Figure 1 shows the precipitation and minimum and maximum temperatures that occurred during the experimental period from May 2008 to April 2009.

The mean annual temperature is 26.5 °C, with April being the warmest month with 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 minimum of 18.8 °C. Relative humidity varies from 66 % in April to 85 % in September. The predominant soils in this area are lithosols, or "tsek'el" in Mayan nomenclature (Bautista *et al.*, 2005).

The experimental area has been used for operating a cut-and-carry fodder system for seven years. Total pru-

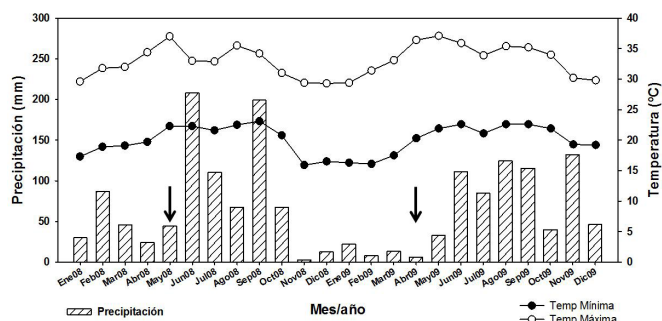


FIGURA 1. Precipitación, temperaturas máximas y mínimas en Mérida, Yucatán. Las flechas (↓) indican el periodo de muestreo. (Fuente: Conagua, 2010).

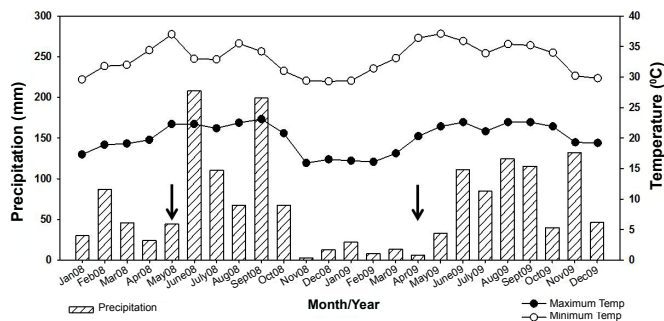


FIGURE 1. Precipitation and maximum and minimum temperatures in Mérida, Yucatán. Arrows (↓) indicate the sampling period. (Source: Conagua, Mexico's National Water Commission, 2010).

el mes más frío es diciembre, con una temperatura máxima de 29.2 °C y una mínima de 18.8 °C. La humedad relativa varía de 66 %, en el mes de abril, a 85 %, en el mes de septiembre. Los suelos predominantes de esta zona son litosoles "tsek'el" en nomenclatura maya (Bautista *et al.*, 2005).

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, pues se remueve la mayor parte de toda la biomasa foliar (>90 % del follaje) cuatro veces al año: dos podas en época seca y dos en época de lluvias (Solorio, 2005). Las unidades experimentales se encuentran arregladas en un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro bloques por tratamiento (Figura 2). En total se establecieron 20 parcelas (cinco parcelas por bloque) de 10 x 20 m. con las especies *L. leucocephala* (Lam.) de Wit., *G. ulmifolia* Lam. y *M. oleifera* Lam., ya sea en monocultivo o asociadas entre sí, las cuales fueron plantadas en hileras a lo largo de la parcela, con una separación de 2 m entre hileras y de 0.5 m entre plantas. La densidad de plantas para el sistema asociado fue del doble en comparación con el monocultivo (10,000 y 20,000 plantas·ha⁻¹, res-

ning is performed, as most of the leaf biomass (>90 % of the foliage) is removed four times a year: two prunings in the dry season and two in the rainy season (Solorio, 2005). The experimental units are arranged in a randomized complete block design with five treatments and four blocks per treatment (Figure 2). A total of 20, 10 x 20 m plots (five plots per block) were established with the species *L. leucocephala* (Lam.) de Wit, *G. ulmifolia* Lam. and *M. oleifera* Lam., either in monoculture or mixed with each other, which were planted in rows along the plot, with a spacing of 2 m between rows and 0.5 m between plants. Plant density for the mixtures was double that of the monocultures (10,000 and 20,000 plants·ha⁻¹, respectively). Each plot consists of five rows, with only three rows considered useful plot. Also, the plots were weeded twice a year.

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

In late January and April (dry season) and in late July and October (rainy season), trees were pruned at a

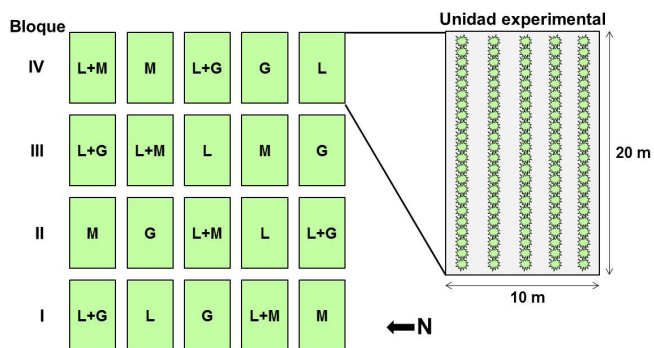


FIGURA 2. Arreglo experimental de las especies en estudio en el experimento. (L+M) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Moringa oleifera*; (L+G) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Guazuma ulmifolia*; (L) *Leucaena leucocephala* en monocultivo; (M) *Moringa oleifera* monocultivo y (G) *Guazuma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

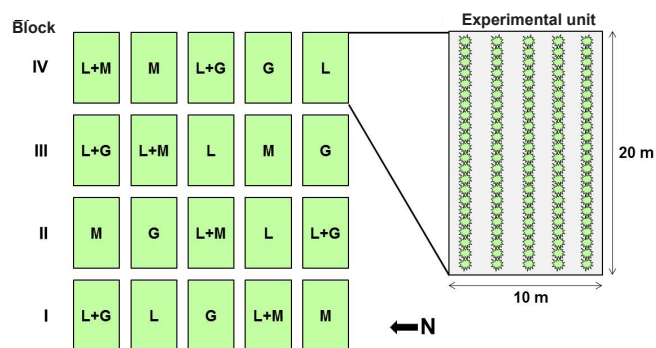


FIGURE 2. Experimental setup of the species studied in the experiment: (L+M) *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* mixed; (L+G) *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* mixed; (L) *Leucaena leucocephala* in monoculture; (M) *Moringa oleifera* in monoculture and (G) *Guazuma ulmifolia* in monoculture in Yucatán, Mexico.

pectivamente). Cada parcela consta de cinco hileras, donde solamente tres hileras se considera la parcela útil. Asimismo, se realizan 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. Características fisicoquímicas del suelo en el área experimental.

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

A finales de enero y abril (época de sequía) y 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).

Para el experimento de descomposición se construyeron bolsas de nylon (litterbags), de 30 cm x 30 cm y 2 mm de abertura de la malla, y se llenaron con hojas frescas (follaje verde) colectadas de la segunda poda de lluvias de 2008 y de la primera poda de sequía 2009 de cada parcela, estas bolsas fueron colocadas semienterradas en el suelo, al comienzo, centro y final de los callejones formados por los árboles. En total se utilizaron 120 bolsas por cada época del año (cinco tratamientos, tres periodos de incubación y ocho repeticiones). Se evaluaron tres periodos de incubación para cada tratamiento: cuatro, ocho, y 16 semanas de acuerdo a los pesos iniciales del follaje, tal y como se muestra a continuación:

Una mezcla de 101 g de hojas frescas de *L. leucocephala* + *G. ulmifolia*, equivalente a 41 g de materia seca (20.5 g de *L. leucocephala* + 20.5 g de *G. ulmifolia*).

100 g de hojas frescas de *L. leucocephala*, equivalente a 39 g de materia seca.

100 g de hojas frescas de *G. ulmifolia*, equivalente a 42 g de materia seca.

TABLE 1. Physiochemical characteristics of the soil in the experimental area.

Elements	
pH	7.8
Stoniness, %	74
Soil, %	26
N, %	0.95
C, %	6.2
P, %	6.6
N mineralization potential, mg·kg ⁻¹	63
Exchangeable K, mg·kg ⁻¹	517
Exchangeable Ca, mg·kg ⁻¹	1086
Exchangeable Mg, mg·kg ⁻¹	345

height of 1.0 m above the ground, with the first two cuts corresponding to the dry season and the last two to the rainy season. Fodder yield was quantified in each cut (kg DM·ha⁻¹).

For the decomposition experiment, 30 cm x 30 cm nylon litterbags with 2-mm mesh openings were made. They were filled with fresh leaves (green foliage) collected from the second rainy-season pruning of 2008 and the first dry-season pruning of 2009 of each plot. These bags were placed half-buried in the ground, at the beginning, middle and end of the alleys formed by the trees. A total of 120 bags were used for each season (five treatments, three incubation periods and eight replicates). We evaluated three incubation periods for each treatment: four, eight and 16 weeks according to the initial foliage weights, as shown below:

A mixture of 101 g of fresh leaves of *L. leucocephala* + *G. ulmifolia*, equivalent to 41 g dry matter (20.5 g of *L. leucocephala* + 20.5 g of *G. ulmifolia*).

100 g of fresh leaves of *L. leucocephala*, equivalent to 39 g dry matter.

100 g of fresh leaves of *G. ulmifolia*, equivalent to 42 g dry matter.

A mixture of 119 g of fresh leaves of *L. leucocephala* + *Moringa oleifera*, equivalent to 39 g dry matter (20 g *L. leucocephala* + 18 g of *Moringa oleifera*).

136 g of fresh leaves of *Moringa oleifera*, equivalent to 35 g dry matter.

In the weeks planned, the bags were removed from each experimental unit and the material was extracted, separated and carefully cleaned according to treatment and species. Then it was dried in an oven with forced air circulation at 60 °C to constant weight (for 48 h approximately), and the amount obtained was recorded as dry weight of material remaining in grams. Based on the above, the percentage of mass remaining (MR) was calculated according to the following equation (1):

Una mezcla de 119 g de hojas frescas de *L. leucocephala* + *Moringa oleifera*, equivalente a 39 g de materia seca (20 g *L. leucocephala* + 18 g de *Moringa oleifera*).

136 g de hojas frescas de *Moringa oleifera*, equivalente a 35 g de materia seca.

En las semanas previstas se retiraron las bolsas de cada unidad experimental y se extrajo el material, el cual se separó y limpió cuidadosamente de acuerdo al tratamiento y a la especie, para luego secarse en una estufa de circulación de aire forzado a 60 °C hasta peso constante (durante 48 h aproximadamente), la cantidad obtenida se registró como peso seco del material remanente en gramos. Con base en lo anterior se calculó el porcentaje de masa remanente (MR) de acuerdo a la siguiente ecuación (1):

$$\%MR = Mt / Mi \times 100 \quad (1)$$

MR= Masa remanente

M_t= Peso seco del material remanente en el tiempo t

M₀= Peso inicial del material verde

La constante de descomposición k, fue calculada por la siguiente ecuación (2):

$$\ln (M_0 / M_t) = k * t \quad (2)$$

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

Para determinar la constante de descomposición exponencial (**k**), se aplicó el modelo exponencial simple (ecuación 3):

$$Y = a e^{(-kt)} \quad (3)$$

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

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

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (4)$$

Donde **Y_{ij}** es la observación en la unidad experimental; **μ** es el efecto medio; **τ_i** efecto del tratamiento i; **β_j** efecto del bloque j; y **ε_{ij}** es el error experimental.

$$\%MR = Mt / Mi \times 100 \quad (1)$$

MR= Mass remaining

M_t= Dry weight of material remaining at time t

M₀= Initial weight of green material.

The decomposition constant **k** was calculated by the following equation (2):

$$\ln (M_0 / M_t) = k * t \quad (2)$$

Where **M₀** is the mass at time 0; **M_t** is the mass at time t; **t** the incubation time (weeks) and **k** the decomposition constant.

To determine the exponential decomposition constant (**k**), we applied the simple exponential model (equation 3).

$$Y = a e^{(-kt)} \quad (3)$$

Subsequently, the samples were ground into particles smaller than 0.5 mm and taken to the laboratory, where the crude protein (CP) content and carbon (C) fraction were determined using a Leco CN 2000® elemental analyzer.

The data were compared using analysis of variance based on the randomized complete block design with the Statgraphics® software program for Windows version 5.1. When significant differences were presented, Tukey's comparison of means test (Type I, 5 % error) was used.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (4)$$

Where **Y_{ij}** is the observation in the experimental unit; **μ** is the mean effect; **τ_i** effect of treatment i; **β_j** effect of block j; and **ε_{ij}** is the experimental error.

RESULTS AND ANALYSIS

Leaf decomposition dynamic

Weight loss

The treatments showed different behaviors in the decomposition periods assessed (Table 2); in the rainy season, statistically significant differences were detected at weeks 4 and 16 with P<F values = 0.005 and 0.001, respectively, in contrast to the dry season, where in all periods evaluated there were significant statistical differences among the treatments (P<F = 0.000 for four and eight weeks; 0.006 for 16 weeks).

Table 2 also shows the weight loss of the different treatments during the rainy and dry seasons. Decomposition is faster in the rainy season, as approximately 77 %

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Dinámica de la descomposición del follaje

Pérdida de peso

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

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

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

Mientras tanto, para la temporada de sequía se observa que la velocidad de descomposición en los monocultivos sigue el orden: *G. ulmifolia* < *L. leucocephala* < *M.*

of the initial mass was incorporated at four weeks and about 93 % at the end of the period (16 weeks). By contrast, in the dry season about 63 and 78 % were incorporated for the same periods, respectively.

At the same time, the fastest decomposition in monocultures occurred in *M. oleifera* (approximately 96 %) and the slowest in *L. leucocephala* (92.3 %), in contrast to the mixtures where *L. leucocephala* with *M. oleifera* incorporated about 94 %, and *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* 90 %.

Meanwhile, for the dry season the decomposition rate in monocultures follows the order: *G. ulmifolia* < *L. leucocephala* < *M. oleifera* with values of 61.4, 76.5 and 92.6 %, respectively, while *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* incorporated about 72 % and *L. leucocephala* with *M. oleifera* 86.5 %.

In general, the decomposition process was faster in the rainy season with approximately 87 % of the mass incorporated, while in the dry season about 70 % was incorporated, resulting in a difference of about 17 % between the seasons.

Similarly, statistically significant differences were observed between seasons in all evaluation periods with $P < F$ values = 0.002, 0.000 and 0.001, for four, eight and 16 weeks, respectively. It should be noted that in none of the periods evaluated were interactions detected between seasons and treatments ($P < F = 0.971$, 0.797 and 0.974 for four, eight and 16 weeks).

Figure 3 shows the predictive equations with the decomposition constants (k), the regression coefficients (R^2) and the probabilities ($P < F$) of weight loss, found after application of the simple exponential model ($Y = ae^{-bt}$), for the different treatments in the rainy and dry seasons. In

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

Tratamiento / Periodo (Semanas)	% Masa remanente					
	Época de Lluvias			Época de Sequía		
	4	8	16	4	8	16
Monocultivo						
<i>G. ulmifolia</i>	27.0±2.1 ^a	9.5±1.1 ^a	7.0±0.6 ^b	54.0±2.0 ^a	48.2±1.9 ^a	38.6±7.5 ^a
<i>L. leucocephala</i>	24.5±1.2 ^{ab}	9.0±1.4 ^a	7.7±0.9 ^{ab}	43.6±0.2 ^b	39.7±3.4 ^a	23.5±6.0 ^{ab}
<i>M. oleifera</i>	17.7±1.4 ^b	7.4±1.1 ^a	4.2±0.5 ^{bc}	11.6±0.5 ^d	8.6±0.8 ^b	7.4±0.4 ^b
Asociación						
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	26.0±0.3 ^a	11.9±1.9 ^a	10.0±0.6 ^a	47.5±1.7 ^b	38.9±4.1 ^a	28.1±5.0 ^{ab}
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleifera</i>	20.7±1.3 ^{ab}	10.0±1.9 ^a	6.7±0.5 ^c	29.9±0.5 ^c	20.3±2.5 ^b	13.5±3.0 ^b
Tratamientos P<F	0.005	0.351	0.001	0.000	0.000	0.006
Época P<F	0.002	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001
Interacción Época x Tratamiento P<F	0.971	0.797	0.974	0.971	0.797	0.974

Medias ± error estándar con literales distintas difieren estadísticamente. Las letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos y las mayúsculas entre épocas ($P < 0.05$)

TABLE 2. Mass remaining (%) in leaves of fodder tree species mixed and in monoculture in Yucatán, Mexico.

Treatment / Period (Weeks)	% Mass remaining					
	Rainy season			Dry season		
	4	8	16	4	8	16
Monoculture						
<i>G. ulmifolia</i>	27.0±2.1 ^a	9.5±1.1 ^a	7.0±0.6 ^b	54.0±2.0 ^a	48.2±1.9 ^a	38.6±7.5 ^a
<i>L. leucocephala</i>	24.5±1.2 ^{ab}	9.0±1.4 ^a	7.7±0.9 ^{ab}	43.6±0.2 ^b	39.7±3.4 ^a	23.5±6.0 ^{ab}
<i>M. oleifera</i>	17.7±1.4 ^b	7.4±1.1 ^a	4.2±0.5 ^{bc}	11.6±0.5 ^d	8.6±0.8 ^b	7.4±0.4 ^b
Mixture						
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	26.0±0.3 ^a	11.9±1.9 ^a	10.0±0.6 ^a	47.5±1.7 ^b	38.9±4.1 ^a	28.1±5.0 ^{ab}
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleifera</i>	20.7±1.3 ^{ab}	10.0±1.9 ^a	6.7±0.5 ^c	29.9±0.5 ^c	20.3±2.5 ^b	13.5±3.0 ^b
Treatments P<F	0.005	0.351	0.001	0.000	0.000	0.006
Season P<F	0.002	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001
Season Interaction x Treatment P<F	0.971	0.797	0.974	0.971	0.797	0.974

Means ± standard error with different literals differ statistically. Lowercase letters indicate differences between treatments and capital letters indicate differences between seasons. (P<0.05).

oleifera con valores de 61.4, 76.5 y 92.6 %, respectivamente. Mientras que en las asociaciones *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* incorporó cerca del 72 % y cuando está asociada con *M. oleifera* el 86.5 %

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

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

La Figura 3 muestra las ecuaciones de predicción con las constantes de descomposición (k), los coeficientes de regresión (R²) y las probabilidades (P<F) de la pérdida de peso, halladas tras la aplicación del modelo exponencial simple (Y= ae^{-bt}), para los diferentes tratamientos en las temporadas de lluvias y sequía. En los monocultivos los valores de k fluctúan entre -0.31 y -0.41 y son netamente superiores que los estimados para el periodo de sequía, a excepción de la constante de descomposición de *M. oleifera*, que muestra un valor de k= -0.50. En las asociaciones los valores de k en lluvias también son mayores que en la temporada de sequía. Asimismo, los R² para los monocultivos y las asociaciones en la época de lluvias predicen entre 98 y 99 % el proceso de descomposición, en tanto para la temporada de sequía también existe una buena predicción. (83-98 %).

monocultivos, k-values range between -0.31 and -0.41 and are clearly higher than those estimated for the dry season, except for the decomposition constant of *M. oleifera*, which shows a k-value= -0.50. In mixtures, k-values are also higher in the rainy season. In addition, the R² for monocultures and mixtures in the dry season predict between 98 and 99 % the decomposition process, while for the dry season there is also good prediction (83-98 %).

Weight losses presented by the treatments evaluated were fast in the initial phase of the trial, because this initial process is done by the macrofauna, which is responsible for physically fragmenting plant residues in order to improve the conditions of the material so that the microfauna can continue the decomposition process. The final phase is carried out by fungi and soil bacteria (Reynolds and Hunter, 2001). Similarly, the initial decomposition is also related to the concentration of water soluble elements and carbohydrates, whereas the final decomposition phase is more related to the lignin content present in materials (Preston and Trofymow, 2000). On the other hand, the quality and quantity of soil resources and litter directly affect the abundance, composition and activity of the decomposer community. The data obtained to determine the dry weight remaining of the five treatments fitted well to the single exponential model. This is consistent with other studies on decomposition (Palm and Sánchez, 1990; Mungia, 2003).

Table 3 shows N behavior and indicates that among the treatments there were statistically significant differences only during the rainy season, with P<F = 0.000 and 0.001 in the three sampling periods (four, eight and 16 weeks), unlike the dry season, where treatments behaved similarly during the three evaluation periods and there were no statistically significant differences with P<F = 0.987, 0.872 and 0.915 for four, eight and 16 weeks.

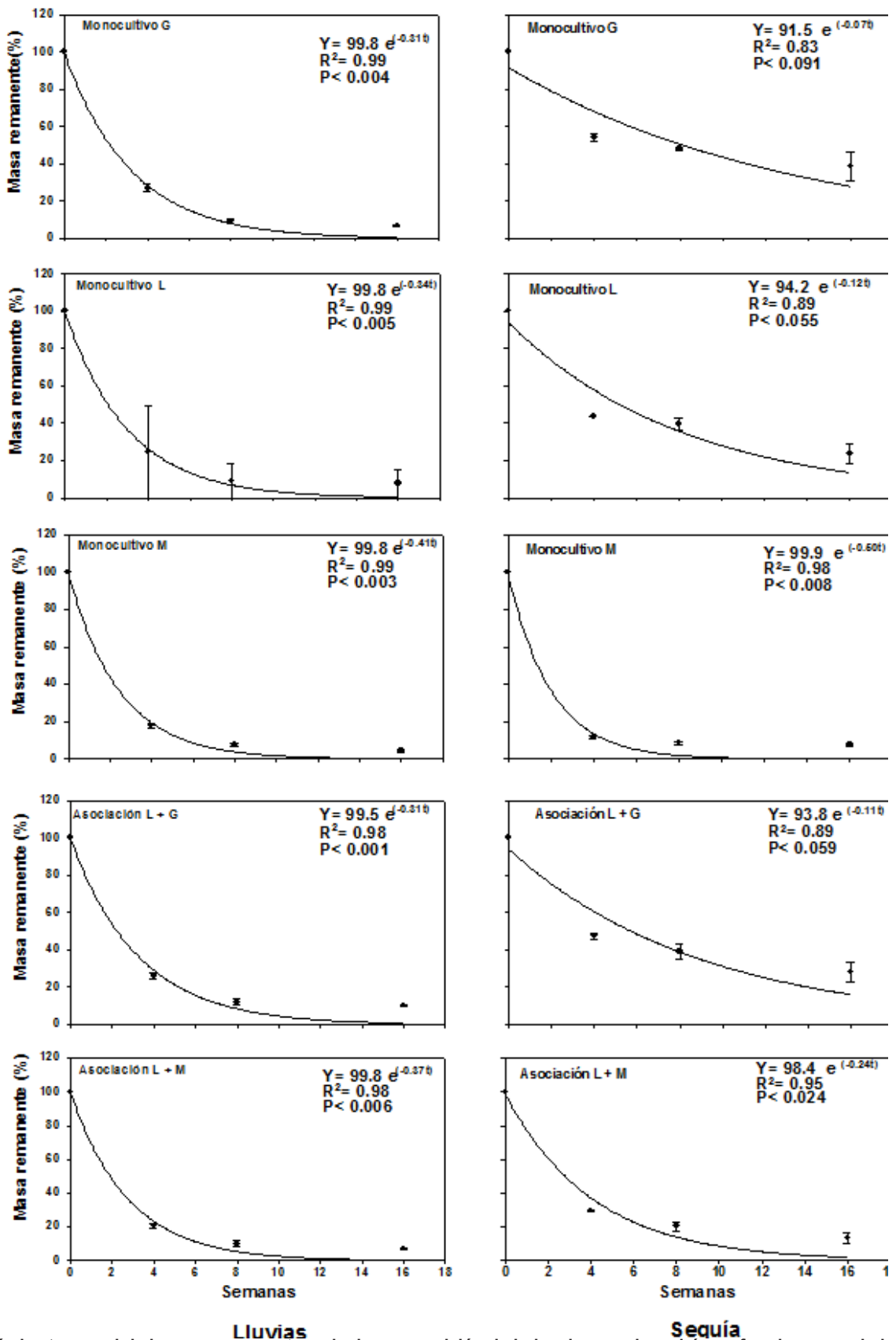


FIGURA 3. Dinámica temporal de la masa remanente en la descomposición de hojas de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo para la época de lluvias y sequía en Yucatán, México. Medias ± error estándar.

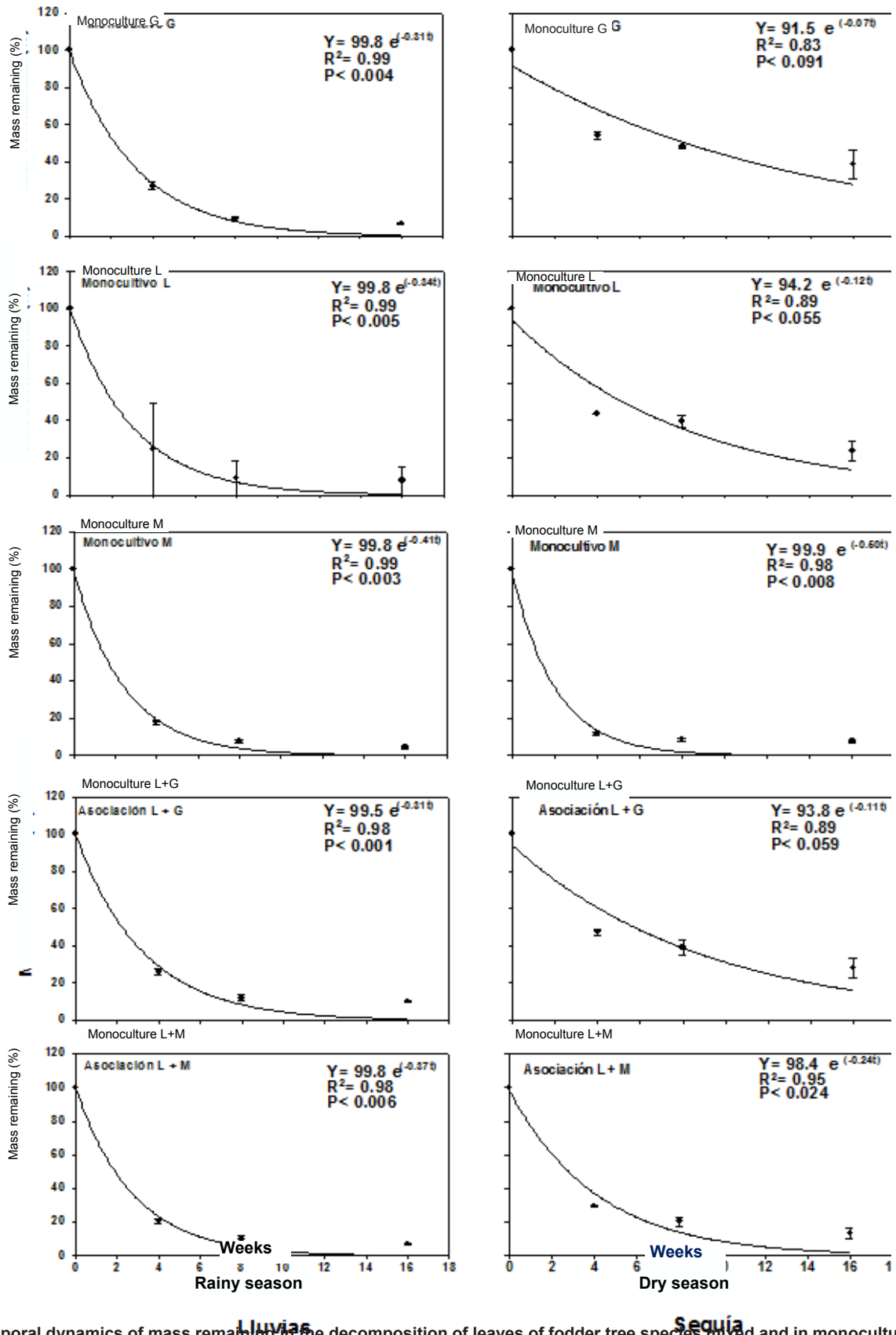


FIGURE 3. Temporal dynamics of mass remaining in the decomposition of leaves of fodder tree species mixed and in monoculture for the rainy and dry seasons in Yucatán, Mexico. Means \pm standard error.

Las pérdidas de peso presentadas por los tratamientos evaluados fueron rápidas en la fase inicial del ensayo, debido a que este proceso inicial es realizado por la macrofauna, que es la encargada de fragmentar físicamente los residuos vegetales con el fin de mejorar las condiciones del material para que la microfauna pueda continuar con el proceso de descomposición. La fase final es llevada a cabo por hongos y bacterias del suelo (Reynolds y Hunter, 2001). Igualmente, la descomposición inicial está también relacionada con la concentración de elementos solubles en agua y carbohidratos, mientras que la fase final de la descomposición está más relacionada con los contenidos de lignina presentes en los materiales (Preston y Trofymow, 2000). Por otro lado, la calidad y cantidad de recursos del suelo y la hojarasca afectan directamente la abundancia, composición y actividad de la comunidad descomponedora. Los datos obtenidos para determinar el peso seco remanente de los cinco tratamientos, se ajustaron bien al modelo exponencial simple. Esto concuerda con otros estudios realizados sobre descomposición (Palm y Sánchez, 1990; Mungia, 2003).

Descomposición y patrones de liberación de Nitrógeno

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

En la temporada de lluvias se presentó una rápida liberación de N, al final del periodo de evaluación (16 semanas). En los monocultivos se observó la siguiente secuencia: *M. oleifera* > *L. leucocephala* > *G. ulmifolia* con valores de 92.5, 92.6 y 95.9 %. En las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleifera*, la liberación fue más rápida (85.4 %) que cuando está asociada con *G. ulmifolia* (79 %).

Por otra parte, en la temporada de sequía el proceso de descomposición fue más lento, *G. ulmifolia* en monocultivo fue la de menor velocidad en liberar el 72.5 % de N a las 16 semanas, mientras *M. oleifera* fue la más veloz con 94.5 % a las 16 semanas. Por su parte, *L. leucocephala* liberó el 78.5 %. En las asociaciones también se evidenció una lenta descomposición durante los periodos de incubación: *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, liberó menos N (54 % al final del periodo) que cuando está asociada a *M. oleifera* (67 %). (Cuadro 3).

Al comparar la liberación promedio de N en las dos épocas del año, se observó que en lluvias fue aproxi-

In the rainy season there was rapid N release at the end of the evaluation period (16 weeks). In monocultures, the following sequence was observed: *M. oleifera* > *L. leucocephala* > *G. ulmifolia* with values of 92.5, 92.6 and 95.9 %. In the *L. leucocephala* mixtures, the release was faster with *M. oleifera* (85.4 %) than with *G. ulmifolia* (79 %).

On the other hand, in the dry season the decomposition process was slower. *G. ulmifolia* in monoculture had the slowest nitrogen release rate, 72.5 %, at 16 weeks, while *M. oleifera* had the fastest with 94.5 % at 16 weeks. For its part, *L. leucocephala* released 78.5 %. The mixtures also showed slow decomposition during the incubation periods: *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* released less N (54 % at the end of the period) than when mixed with *M. oleifera* (67 %) (Table 3).

By comparing the average N release in the two seasons, it was determined to be about 71 % in the rainy season and 66 % in the dry season. In addition, there were statistically significant differences between the seasons in the decomposition periods of four, eight and 16 weeks ($P < F = 0.039$, 0.001 and 0.004); also, the interaction between seasons and treatments had no effect, as seen in Table 3.

Solorio (2005), in an identical two-year-old mixed fodder bank, observed a rapid release of N in *M. oleifera*, moderate in *L. leucocephala* and slow in *G. ulmifolia* during the first four weeks of the rainy season (67, 47 and 14 %), while in mixtures *L. leucocephala* with *M. oleifera* showed the highest release (47 %). For the dry season, N release followed the same trend, which when compared with the results of this research shows that they are very similar.

Other studies in pure and mixed plantations of *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms and *Eucalyptus grandis* W. Hill. in Brazil by Balieiro *et al.* (2008) found that although N and P release for *P. guachapele* and *E. grandis* did not fit well to the exponential model, there was a tendency to faster release of these elements in mixed plantations of these two species at 22 weeks, compared with pure plantations. For their part, Wang *et al.* (2008), in pure and mixed plantations of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. and *Michelia macclurei* Dandy in southern China, found that the amount of N release ranged from 47 to 66 % in pure plantations, while it was faster in mixed stands.

In central Himalaya, in a mixed plantation established on abandoned agricultural land, Semwal *et al.* (2003) studied the chemical composition and decomposition patterns of six multi-purpose tree species: *Alnus nepalensis* D. Don., *Albizia lebbek* (L.) Benth., *Boehmeria rugulosa* Wedd., *Dalbergia sissoo* DC., *Ficus*

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

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

Medias ± error estándar con literales distintas difieren estadísticamente. Las letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos y las mayúsculas entre épocas. (P<0.05).

TABLE 3. Nitrogen remaining (%) in leaves of fodder tree species mixed and in monoculture in Yucatán, Mexico.

Treatment / Period (Weeks)	% Nitrogen remaining					
	Rainy season			Dry season		
	4	8	16	4	8	16
Monoculture						
<i>G. ulmifolia</i>	24.1±1.9 ^c	9.8±1.1 ^b	7.5±0.7 ^c	38.4±1.4 ^a	34.3±0.6 ^a	27.7±5.4 ^a
<i>L. leucocephala</i>	20.4±1.0 ^c	8.6±1.3 ^b	7.4±0.9 ^c	32.2±0.2 ^a	32.4±2.7 ^a	21.5±5.1 ^a
<i>M. oleifera</i>	13.6±1.1 ^d	6.1±3.2 ^b	4.1±0.5 ^c	8.4±0.4 ^a	7.2±0.7 ^a	5.5±0.3 ^a
Mixture						
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	44.8±0.4 ^a	23.8±4.9 ^a	21.0±1.3 ^a	68.6±2.4 ^a	60.9±5.2 ^a	45.7±8.3 ^a
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleifera</i>	33.4±1.6 ^b	23.7±0.9 ^a	14.6±1.3 ^b	53.6±0.3 ^a	44.4±6.5 ^a	32.8±8.8 ^a
Treatments P<F	0.000	0.001	0.000	0.897	0.872	0.915
Season P<F	0.039	0.001	0.004	0.039	0.001	0.004
Season Interaction x Treatment P<F	0.971	0.797	0.974	0.971	0.797	0.974

Means ± standard error with different literals differ statistically. Lowercase letters indicate differences between treatments and capital letters between seasons. (P<0.05).

madamente el 71 % y en sequía 66 %. Asimismo, se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las épocas en los periodos de descomposición de cuatro, ocho y 16 semanas (P<F0.039, 0.001 y 0.004); además no hubo efecto de la interacción entre épocas y tratamientos, tal como se observa en el Cuadro 3.

Solorio (2005), en el mismo banco mixto de proteínas, a la edad de dos años, **observó una rápida liberación** de N en *M. oleifera*, moderada en *L. leucocephala* y lenta en *G. ulmifolia* las primeras cuatro semanas en la época de lluvias (67, 47 y 14 %), mientras que en las asociaciones *L. leucocephala* con *M. oleifera* obtuvo la mayor liberación (47 %). Para la temporada de sequía reporta que la liberación de N siguió la misma tendencia, que al cotejarla con los resultados de esta investigación muestra que son muy similares.

glomerata Roxb. and *F. roxburghii* Steud. They reported that the highest N and P release rates occurred during the rainy season.

The pattern that best characterized decomposition and N release was the single exponential model. Figure 4 shows the predictive equations and decomposition constants (-k), and the regression coefficients (R²) and the probabilities (P<) for nitrogen, both in the rainy and dry seasons, according to the application of the simple exponential model (Y= ae^{-bt}), for the different treatments in the rainy and dry seasons. In monocultures, k-values range between -0.34 and -0.48 and are clearly higher than those estimated for the dry period, except for the k-value for *M. oleifera* (-0.58) in the dry season. In mixtures, k-values are also higher in the rainy season than the dry season. In addition, R² predict the decomposition process for monocultures (99 %) and mixtures (95 %) in

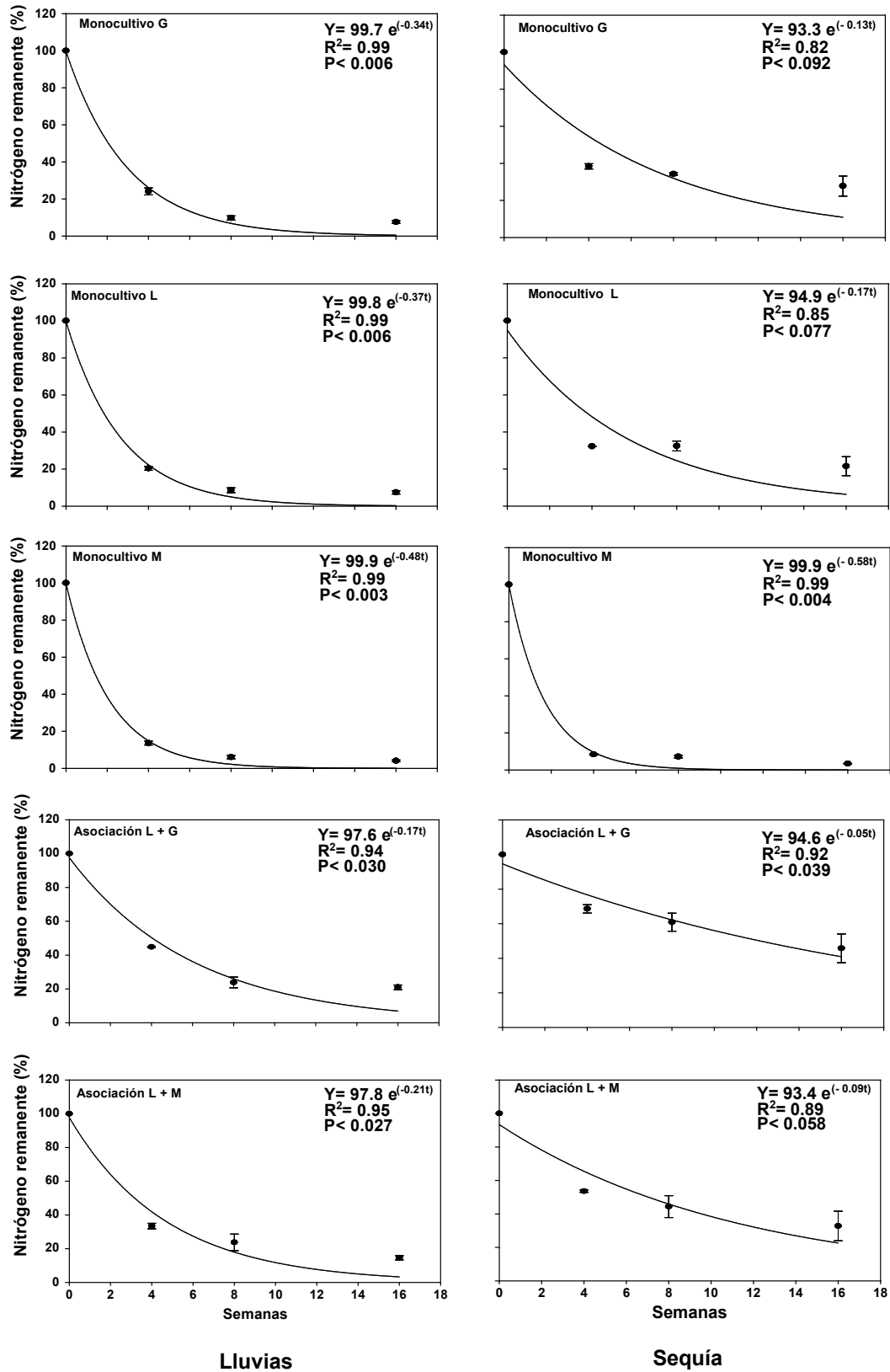


FIGURA 4. Dinámica temporal del N en la descomposición de hojas de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo para la época de lluvias y sequía en Yucatán, México. Medias ± error estándar.

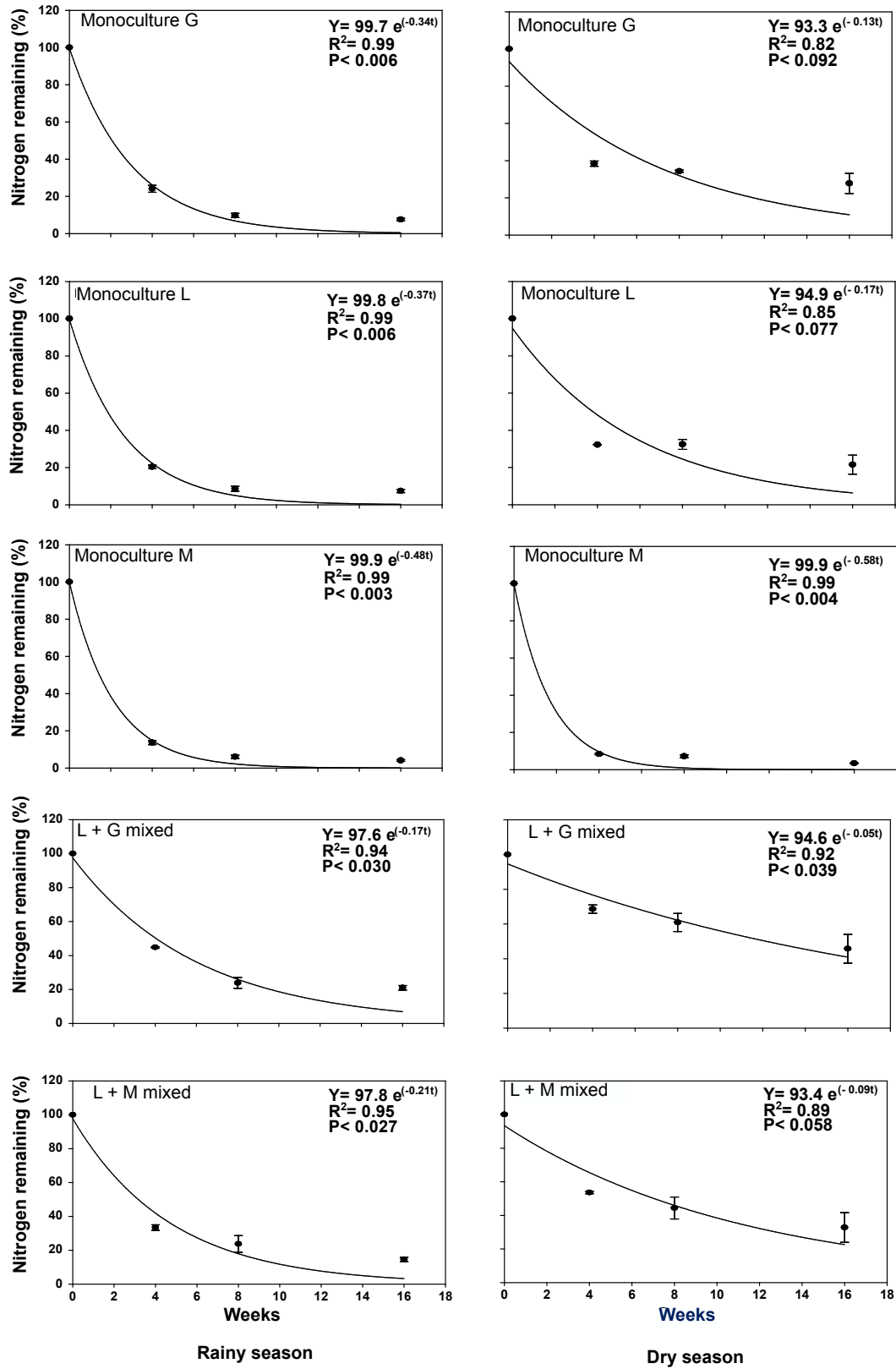


FIGURE 4. Temporal dynamics of N in the decomposition of leaves of fodder tree species mixed and in monoculture for the rainy and dry seasons in Yucatán, Mexico. Means ± standard error.

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

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

El patrón que mejor caracterizó la descomposición y liberación de N, fue el modelo simple exponencial. La Figura 4 muestra las ecuaciones de predicción y las constantes de descomposición (-k), los coeficientes de regresión (R²) y la probabilidades (P<) para el nitrógeno, tanto en temporada de lluvias como en sequía, según la aplicación del modelo exponencial simple (Y= ae^{-bt}), para los diferentes tratamientos en las temporadas de lluvias y sequía. En los monocultivos los valores de k fluctúan entre -0.34 y -0.48 y son netamente superiores que los

the rainy season and >80 % for the dry period.

Decomposition and organic matter release patterns

Table 4 shows that for OM there were significant differences between treatments in the rainy (P<F= 0.000 and 0.000) and dry (P<F= 0.000 and 0.0024) seasons only in the periods evaluated at four and 16 weeks, respectively.

In the rainy period the OM incorporation process was faster. In monocultures, at the end of the study period, the sequence was *M. oleifera* > *G. ulmifolia* > *L. leucocephala* with 96.8, 93.3 and 92.9 %, respectively; in the mixtures, *L. leucocephala* with *M. oleifera* incorporated 85.5 % and *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* 83.3 %.

For the dry season, at the end of the period (16 weeks), in monocultures *M. oleifera* rapidly incorporated 94.5 % of the OM, followed by *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* with 77.5 and 63.3 %, respectively. In mixtures, the incorporation was higher in *L. leucocephala* with *M. oleifera* than when the former was mixed with *G. ulmifolia*, with 62.5 and 53.8 %, respectively (Table 4).

Comparing the average incorporation of OM in the two seasons, it was determined to be approximately 83 % and 61 % in the rainy and dry seasons, respectively.

There were also statistically significant differences between times of the year with P<F= 0.006, 0.000 and 0.001 for the three assessment periods, and there was no interaction effect between seasons and treatments.

Solorio (2005) reports that no significant differences were found among treatments for the dry season. In monocultures, at four weeks *L. leucocephala* released 45 % of the OM, while in *M. oleifera* and *G. ulmifolia* the process was slower for the same period, with values of

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

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

Medias ± error estándar con literales distintas difieren estadísticamente. Las letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos y las mayúsculas entre épocas. (P<0.05)

TABLE 4. Organic matter remaining (%) in leaves of fodder tree species mixed and in monoculture in Yucatán, Mexico.

Treatment / Period (Weeks)	% Organic matter remaining					
	Rainy season			Dry season		
	4	8	16	4	8	16
Monoculture						
<i>G. ulmifolia</i>	25.9±2.0 ^b	9.0±1.1 ^a	6.7±0.6 ^b	51.7±1.9 ^b	46.3±0.9 ^a	36.7±7.1 ^{ab}
<i>L. leucocephala</i>	24.3±1.2 ^b	8.0±1.2 ^a	7.1±0.9 ^b	41.3±0.2 ^c	37.6±3.1 ^a	22.5±5.4 ^{ab}
<i>M. oleifera</i>	13.7±1.1 ^c	5.5±0.9 ^a	3.2±0.4 ^b	8.4±0.4 ^d	6.3±0.6 ^a	5.5±0.3 ^b
Mixture						
<i>L. leucocephala</i> + <i>G. ulmifolia</i>	40.8±0.3 ^a	18.0±2.1 ^a	16.2±1.3 ^a	70.1±1.3 ^a	57.8±8.0 ^a	46.2±8.3 ^a
<i>L. leucocephala</i> + <i>M. oleifera</i>	37.9±2.2 ^a	22.7±4.7 ^a	14.2±0.5 ^a	70.1±0.5 ^a	53.0±8.0 ^a	35.7±0.3 ^{ab}
Treatment P<F	0.000	0.726	0.000	0.000	0.8109	0.024
Season P<F	0.006	0.000	0.001	0.006	0.000	0.001
Season Interaction x Treatment P<F	0.991	0.872	0.923	0.991	0.872	0.923

Means ± standard error with different literals differ statistically. Lowercase letters indicate differences between treatments and capital letters between seasons. ($P<0.05$).

estimados para el periodo de sequía, exceptuando el k para *M. oleifera* (-0.58) en sequía. En las asociaciones los valores de k en lluvias, también son mayores que en la temporada de sequía. Asimismo, los R^2 predicen el proceso de descomposición para los monocultivos (99 %) y las asociaciones (95 %) en la época de lluvias y >80 % para el periodo de sequía.

Descomposición y patrones de liberación de materia orgánica.

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

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

Para la época de sequía al final del periodo (16 semanas), en los monocultivos *M. oleifera* incorporó rápidamente el 94.5 % de la MO, seguida de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* con 77.5 y 63.3 %, respectivamente. En las asociaciones se observó que la incorporación fue mayor en *L. leucocephala* con *M. oleifera* que cuando esta con *G. ulmifolia*, con 62.5 y 53.8 %, respectivamente (Cuadro 4).

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

41 and 33 %, respectively. By the end of the process, *M. oleifera* incorporated 79 % OM. In mixtures, at four weeks *L. leucocephala* with *M. oleifera* released 41 % and *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* 32 %. By the end of the experimental period, *L. leucocephala* mixed with *M. oleifera* released 79 %. In the rainy season in monocultures, at 16 weeks, *M. oleifera* had the fastest decomposition (87 %) and *G. ulmifolia* the slowest 62 %). The *L. leucocephala*-*M. oleifera* mixture showed the fastest decomposition. Comparing these results with those of this study, one can see important differences in behavior of the species in monocultures and mixtures in the two seasons of the year, in terms of the speed of the decomposition process during the research period.

Figure 5 shows the predictive equations and the decomposition constants (k), the regression coefficients (R^2) and the probabilities ($P<$) for OM, and the model that best characterized OM decomposition and release was the simple exponential one ($Y= ae^{-bt}$), during both the rainy and dry periods. In monocultures, k -values range between -0.33 and -0.48 and are higher than those estimated for the dry period, except for the decomposition constant of *M. oleifera*, which shows a k -value of -0.59. In mixtures, k -values are also higher in the rainy season than in the dry period. Similarly, the regression coefficients (R^2) predict that the decomposition process can be explained by 99 % for the monocultures and 98 % in the mixtures for the rainy season; as for the dry season, there is also adequate prediction (>80 %).

Hariah (1999) argues that organic matter management practices such as hedgerow intercropping systems can have a major impact on decomposition, nutrient mineralization and microbial activity. Studies conducted in Lampung (Indonesia) in a secondary fo-

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

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

La Figura 5 muestra las ecuaciones predictivas y los coeficientes de descomposición (k), los coeficientes de regresión (R^2) y las probabilidades ($P <$) para la MO, y el modelo que mejor caracterizó la descomposición y liberación de MO fue el simple exponencial ($Y = ae^{-bt}$) tanto en temporada de lluvias como en sequía. En los monocultivos los valores de k fluctúan entre -0.33 y -0.48 y son superiores a los estimados para el periodo de sequía, a excepción de la constante de descomposición de *M. oleifera*, que muestra un valor de k de -0.59 . En las asociaciones, los valores de k en lluvias también son mayores que en la temporada de sequía. De igual forma, los coeficientes de regresión (R^2) predicen que el proceso de descomposición puede ser explicado en 99 % para los monocultivos y 98 % en las asociaciones para la época de lluvias; en tanto para la temporada de sequía, también existe una adecuada predicción (>80 %).

Hairiah (1999) argumenta que las prácticas de manejo de la materia orgánica tales como los sistemas de setos vivos con cultivos intercalados pueden tener un gran impacto en la descomposición, la mineralización de nutrimentos y la actividad microbiana. Trabajos realizados en Lampung (Indonesia) en un bosque secundario encontraron cantidades más altas de biomasa microbiana ($106 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), poblaciones microbianas totales (224×10^4 UFC) y actividad microbiana ($7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ de CO_2 producido) en comparación con lo hallado en parcelas de ocho

rest found higher amounts of microbial biomass ($106 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), total microbial populations (224×10^4 UFC) and microbial activity ($7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ of CO_2 produced) compared with those found in eight-year plots using hedgerow intercropping systems and pruning inputs of *Peltophorum adnatum* Griseb., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., *Calliandra calothyrsus* Meisn., *L. leucocephala* or *Flemingia macrophylla* (Willd.) Merr. In the same plots, seven earthworm species were found under the secondary forest, which fell to six in the hedgerow intercropping system (*Peltophorum*, *Gliricidia* and *Peltophorum* and *Gliricidia* mixed) and to five in the control plots (no hedgerows), respectively.

Crop residues, litter and pruning remains incorporated into the soil are crucial for microorganism activity, since they constitute an important source of energy for their growth (Da Costa, 1995), representing 1-5 % of C and N and up to 19 % of organic P (Meléndez et al., 1995).

Petit et al. (2009) indicate that tree species possess elements of high nutritional value that help reduce soil fertility problems; incorporating high-quality litter leads to efficient nutrient recycling and thus increases the possibility of improving the productivity of the species mixed. Similarly, leguminous trees can establish symbiosis with bacteria and fungi, which improve the availability of limited elements for their growth. The authors add that mixing tree species can help meet a wide range of production, ecological and economic targets. However, this depends not only on the characteristics of the species, but also largely on the available site resources, such as light, water and soil nutrients, as well as the agro-ecosystem management system.

Moreover, Richards et al. (2010) contend that if decomposition rates are constant or increase, greater litter production or changes in the rate of inputs in mixed plantations could increase the nutrient supply to the soil, compared with monocultures; they illustrate their argument with the example of an experiment in tropical trees, in which the production of wood and litter on the soil was higher in the mixtures of three species than in their corresponding monocultures, because interspecific interactions influence growth and the capture of nutrients, while the litter decomposition rates were not affected.

CONCLUSIONS

Leucaena leucocephala, *Guazuma ulmifolia* and *Moringa oleifera* in monoculture and mixtures demonstrated their ability to produce considerable amounts of organic matter and release significant amounts of N in short periods. The initial mass loss of the foliage was

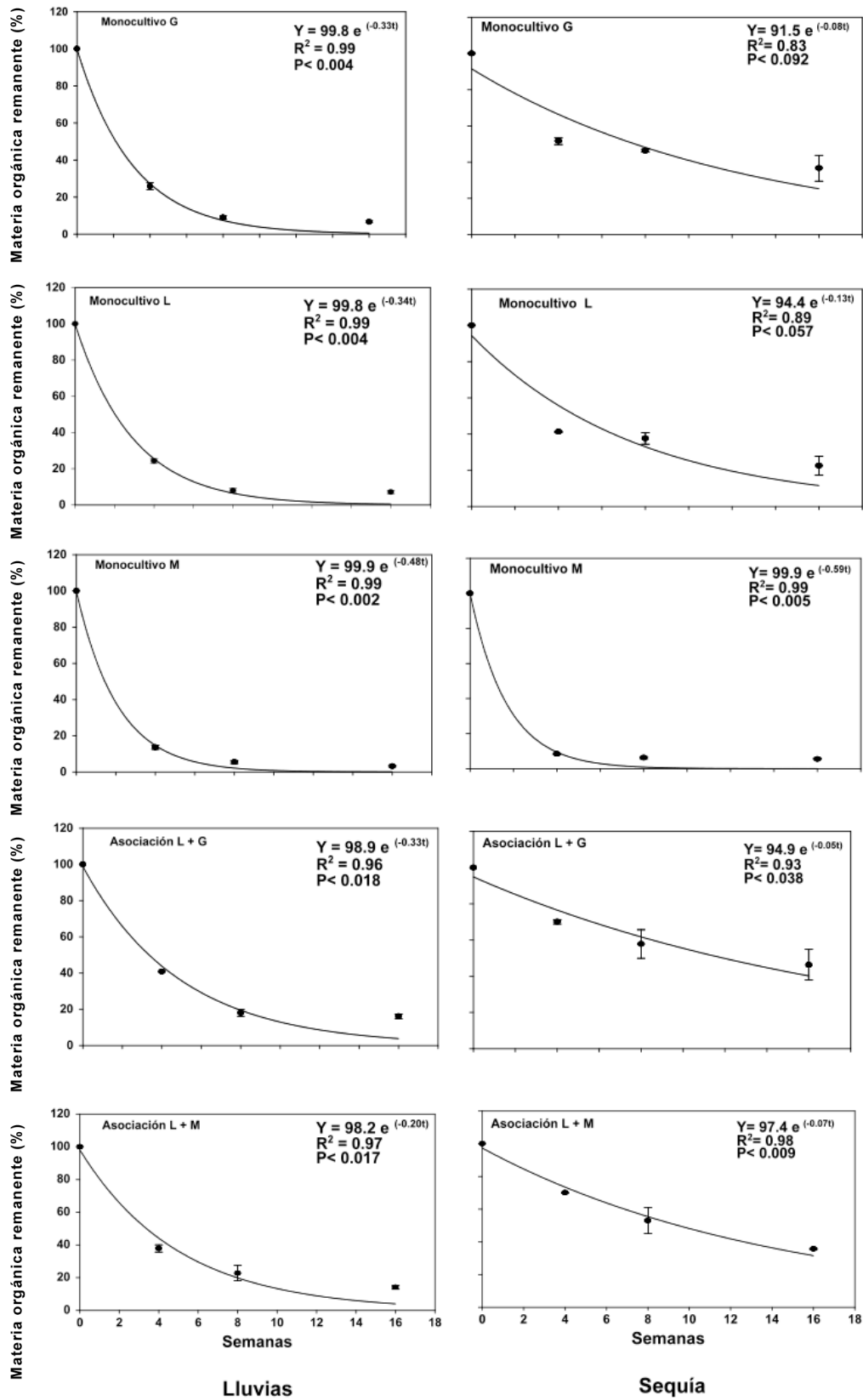


FIGURA 5. Dinámica temporal de la MO en la descomposición de hojas de especies arbóreas forrajeras asociadas y en monocultivo para la época de lluvias y sequía en Yucatán, México. Medias \pm error estándar.

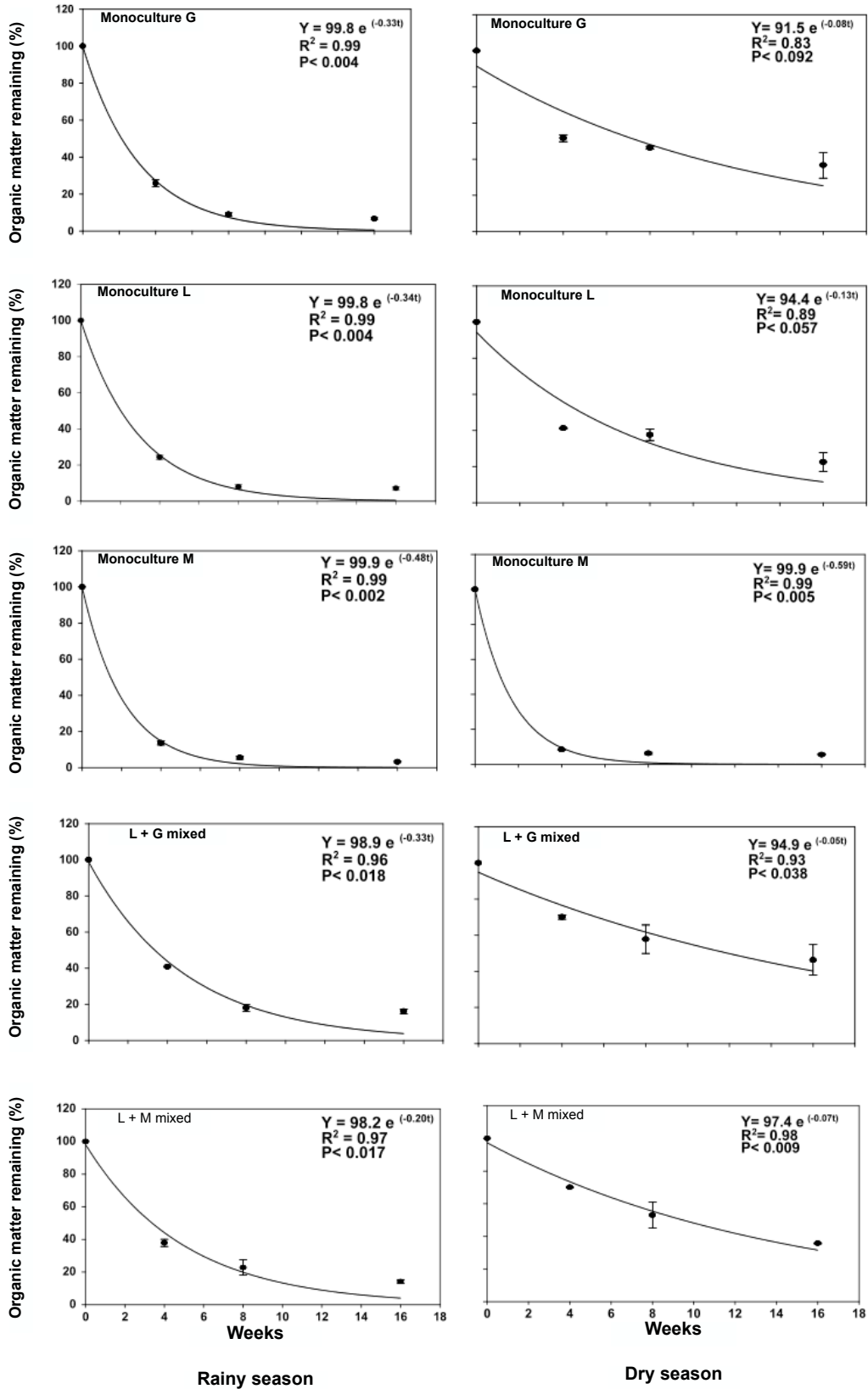


FIGURE 5. Temporal dynamics of OM in the decomposition of leaves of fodder tree species mixed and in monoculture for the rainy and dry seasons in Yucatán, Mexico. Means ± standard error.

años en sistemas de setos vivos con cultivos intercalados y aportes de poda de *Peltophorum adnatum* Griseb., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., *Calliandra calothyrsus* Meisn., *L. leucocephala* o *Flemingia macrophylla* (Willd.) Merr. En las mismas parcelas registraron siete especies de lombrices de tierra bajo el bosque secundario, que disminuyó a seis en el sistema de setos vivos con cultivos intercalados (*Peltophorum*, *Gliricidia* y la asociación *Peltophorum* + *Gliricidia*) y cinco especies en las parcelas testigo (sin setos vivos), respectivamente.

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

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

Por otra parte, Richards *et al.* (2010) afirman que si las tasas de descomposición son constantes o aumentan, una mayor producción de hojarasca o cambios en el ritmo de las aportaciones en plantaciones mixtas podrían aumentar el suministro de nutrientes al suelo, en comparación con los monocultivos; e ilustran con un ejemplo de un experimento en árboles tropicales, en el cual la producción de la madera y hojarasca sobre el suelo fueron superiores en las mezclas de tres especies que en sus correspondientes monocultivos, debido a que las interacciones interespecíficas influyen en el crecimiento y la captura de nutrientes, mientras que las tasas de descomposición de hojarasca no fueron afectadas.

CONCLUSIONES

Leucaena leucocephala, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en monocultivo y asociadas, demostraron su capacidad para producir considerables cantidades de materia orgánica y liberar importantes cantidades de N en cortos periodos. La pérdida de masa inicial del follaje

faster in the rainy season; the decomposition patterns of all species followed the simple exponential model, with more than 80 % of the initial mass incorporated by the end of the study period (16 weeks). Weight loss was faster in *Moringa oleifera* > *L. leucocephala* mixed with *M. oleifera* > *L. leucocephala* > *L. leucocephala* mixed with *G. ulmifolia* > *G. ulmifolia*, while N release was faster in *Moringa oleifera* and slower in *L. leucocephala* mixed with *G. ulmifolia*. For their part, the leaves of *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* released N at rates with intermediate values. This has significant implications for synchronizing nutrient release with crop uptake in low-input systems (e.g. shifting cultivation) in the tropics, where rotation cycles are frequent (Jordan, 1985). In this regard the three species studied in this research would have a transcendental value for the case of released N and OM, and it can be inferred that the availability of these elements could be used in different agroforestry systems according to the N requirements and the rotation cycle, for example in alley cropping with agroforestry combinations (maize, squash, beans, etc.) and silvopastoral ones (trees in pastures and fodder banks and mixtures), as well as soil conservation methods in areas with erosion problems.

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to the Universidad de los Andes (ULA), Mérida, Venezuela, for funding the doctoral studies of Judith Petit Aldana, the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (Mexico's National Science and Technology Council) and the technical staff of the fodder area at UADY's Biological and Agricultural Sciences campus.

End of English Version

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

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

AGRADECIMIENTOS

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

LITERATURA CITADA

- Aber, J., Melillo, J. (1991). *Terrestrial Ecosystems*. USA: Saunders College Publishing.
- Aerts, R. (1997). Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 79: 439-449.
- Balieiro, F., Rodrigues, B., Pereira, M., De Faria, S., Franco, A., Campello, E. (2008). Biological nitrogen fixation a nutrient release from litter of the guachapele leguminous tree under pure and mixed plantation with eucalyptus. *Cerne*. 14(3),185-193.
- Bautista, F., Palma-López, D., Huchin-Malta, W. (2005). Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales* (105-122). México: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Conagua. (2010). *Boletín meteorológico del estado de Yucatán*. México. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/OCPY07/Contenido/Documentos/BolEst.pdf>
- Da Costa, M. (1995). Abonos verdes: una práctica indispensable en los sistemas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales. En García, J.E y Monte-Najera, J. (eds.). *Agricultura Orgánica* (91-119). San José, Costa Rica: EUNE.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hairiah, K. (1999). Changes of decomposition rate of different litter quality under different soil biological condition. En: A. Gafur, FX. Susilo, M. Utomo y M. van Noordwijk (eds.). *Proceedings of a Workshop on Management of Agrobiodiversity in Indonesia for Sustainable Land Use and Global Environmental Benefits*(29-39) Bogor: UNILA/PUSLIBANGTAN.
- 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.
- Meléndez, G., Szott, T., Ricse, A. (1995). Mineralización de nitrógeno de material foliar de especies de *Inga*. En: Szott, L. T.(eds), *Nitrogen fixing tree, research report* (35-41). Morrilton, Ark. USA, Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Mungia, R. (2003). Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de hojarasca de *E. deglupta*, *C.arabica* y de hojas verdes de *E. poeppigiana* solas y en mezclas. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Palm, C. A., Sánchez, P. A. (1990). Decomposition and nutrient release of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica*, 22, 330-338.
- Petit, A. J., Casanova, L. F., Solorio, S. F. J. (2009). Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos. *Agricultura Técnica en México*. 35 (11), 107-116.
- Preston C. M., Trofymow, J. A. (2000). Canadian intersite decomposition experiment working group, variability in litter quality and its relationship to litter decay in canadian forests. *Canadian of Journal of Botany*. 78: 1269-1287.

- Reynolds B. C, Hunter, M. D. (2001). Responses of soil respiration, soil nutrients, and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1641-1652.
- Richards, A., Forrester, D., Bauhus, J., Scherer-Lorenzen, M. (2010). The influence of mixed tree plantations on the nutrition of individual species: a review. *Tree Physiology*: 30(9): 1192-1208. doi: 10.1093/treephys/tpq035.
- 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, 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. doi: 10.1016/S0961.9534(02)00087-9
- Tian G., Badejo, M. A. (2001). Soil fauna and soil fertility. *En: G. Tian , Jerry L. Hatfield , F. Ishida (Eds), Sustaining Soil Fertility in West Africa (45–67)*. Madison, Wisconsin: SSSA Special Publication
- 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. doi: 10.1016/j.foreco2007. 10.026.