

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

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

Judith Petit[†], Gabriel Uribe^{**}, Fernando Casanova^{***}, Francisco Solorio^{***} y Luis Ramírez^{***}

Recibido: 11/03/2011 / Aceptado: 08/12/2011

Resumen

En el trópico la producción ganadera es limitada por la escasez y la mala calidad de forraje durante la estación seca. Se evaluó la composición química y el rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje durante la temporada de lluvias y sequía. Las unidades experimentales siguen el diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, en densidades de 10.000 y 20.000 plantas/ha. Se podaron los árboles a 1,0 m de altura correspondiendo los dos primeros cortes a la época de sequía y los dos últimos a lluvias. Se cuantificó el rendimiento de forraje (t MS /ha) y se determinó el contenido de PC, FDN, FDA, C, N y la relación C:N en el forraje cosechado. El follaje de las especies evaluadas estuvo conformado por 61% de hojas, 21% de tallos comestibles y 20% de tallos leñosos y una relación hoja: tallo de 1.5. La asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* produjo la mayor cosecha de forraje, en la temporada de lluvias (4,1 t MS / ha) con una producción de 7,0 t MS/ha/año. La PC, FDN, FDA, C, N y la proporción C:N son semejantes a los reportados para árboles forrajeros tropicales. Se concluye que la asociación de especies arbóreas es un potencial para la producción de forraje en las condiciones del trópico mexicano y es alternativa para complementar la dieta de los rebaños en la época de escasez de pastos.

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

[†]Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, Venezuela, Correo E.: jcpetita@ula.ve

^{**}Investigador Titular C. (Jubilado) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP). Yucatán, México. Correo E.: cayetano.uribe@gmail.com

^{***}Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México, Correo E.: fkzanov@gmail.com, ssolorio@uady.mx, raviles@uady.mx

Abstract

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

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

Introducción

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

La pérdida de la fertilidad de los suelos, la degradación de las pasturas, la contaminación de las fuentes hídricas, el incremento de emisiones de gases con efecto invernadero y la baja productividad de las fincas ganaderas son reflejo del uso de tecnologías que limitan el potencial para la producción de carne y leche que ofrece el trópico en sus diferentes agroecosistemas. El acceso a nuevos nichos de

mercado internacional hace necesario reestructurar los sistemas de producción de carne y leche, no sólo para mejorar la cantidad y calidad de los productos, sino para acceder a mercados especiales donde la conservación de los recursos naturales y el bienestar animal y social son pilares fundamentales (Navas, 2007).

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

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

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

En este sentido el objetivo de esta investigación fue evaluar la composición química y el rendimiento de forraje de *Leucaena*

leucocephala, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje durante las temporadas de lluvias y sequía.

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 enero a diciembre 2009. La zona presenta un clima Aw_0 según la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), con una precipitación promedio anual de 953 mm, concentrándose de junio a octubre el 82 % de las precipitaciones. En la figura 1, se muestra la precipitación (mm) y las temperaturas mínimas y máximas presentadas durante el periodo experimental.

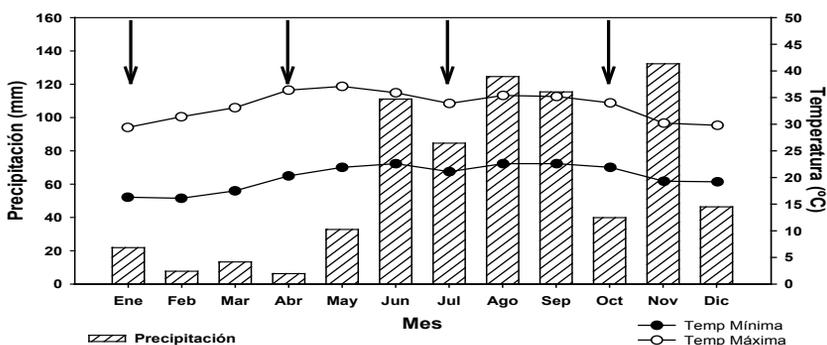


Figura 1. Precipitación y temperatura mínima y máxima registradas de enero a diciembre de 2009 en Yucatán. Las líneas (↓) indican los meses donde se realizaron las cosechas de forraje.

Fuente: CONAGUA. Recuperado de <http://www.smn.conagua.gob.mx>

La temperatura media anual es de 26,5 °C, siendo el mes de abril el más caluroso donde se alcanzan temperaturas máximas de 38 °C y mínimas de 22,3 °C, el mes más frío es diciembre, con una temperatura máxima de 29,2 °C y una mínima de 18,8 °C. La humedad relativa varía de 66 %, en el mes de abril, a 85 % en el mes de septiembre. Los suelos predominantes de esta zona son litosoles “tsek’el” -en nomenclatura maya- (Bautista, *et al.*, 2005).

El área experimental tiene una historia de uso como sistema de corte y acarreo de forraje, el cual ha estado operando durante siete años. Las podas que se realizan son totales, en las que se remueve la

mayor parte de toda la biomasa foliar (>90 % del follaje), cuatro veces al año; dos podas en época de sequía y dos en época de lluvias (Solario, 2005). Las unidades experimentales se encuentran arregladas en un diseño de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 4 bloques por tratamiento (figura 2). Las plantas fueron establecidas por trasplante, cuando alcanzaron 30 cm de altura aproximadamente. En total se establecieron veinte parcelas (5 parcelas por bloque) de 10 x 20 m con las especies *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Guazuma ulmifolia* Lam., y *Moringa oleífera* Lam., ya sea en monocultivo o asociadas entre sí, los cuales fueron plantados en hileras a lo largo de la parcela, con una separación entre hileras de 2 m y entre plantas de 0,5 m. La densidad de plantas para el sistema asociado fue del doble en comparación con el monocultivo (10.000 y 20.000 plantasha⁻¹, respectivamente), aunque la densidad por especie fue constante (10.000 plantasha⁻¹). Cada parcela consta de cinco hileras, donde solamente tres hileras se considera la parcela útil. Así mismo, se realizaron deshierbes dos veces al año.

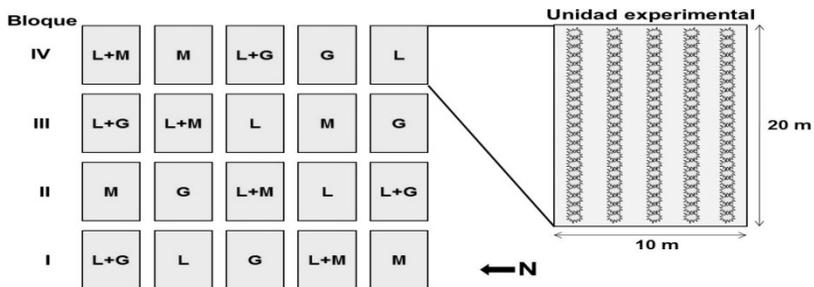


Figura 2. Arreglo experimental de las especies en estudio en el experimento. (L+M) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Moringa oleífera*; (L+G) *Leucaena leucocephala* en asociación con *Guazuma ulmifolia*, (L) *Leucaena leucocephala* en monocultivo; (M) *Moringa oleífera* monocultivo y (G) *Guazuma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

Fuente: Elaboración propia.

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

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

Elementos	
pH	7,8
Pedregosidad, %	74
Suelo, %	26
N, %	0,95
C, %	6,2
P %	6,6
Potencial de mineralización de N, mg/kg	63
K intercambiable, mg/kg	517
Ca intercambiable, mg/kg	1086
Mg intercambiable, mg/kg	345

Fuente: Elaboración propia.

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

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

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

Posteriormente las muestras de forraje (hojas y tallos comestibles) fueron molidas con ayuda de un molino eléctrico Thomas-Wiley® a un tamaño de partícula de 0,5 mm, y fueron llevadas a laboratorio para

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

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

Resultados y discusión

Componentes del follaje

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

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

Época	Componentes			Relación hoja:tallo
	Hoja (%)	Tallo comestible (%)	Tallo leñoso (%)	
Sequia	69,4 ^a	18,8 ^b	15,0 ^b	2,5 ^a
Lluvia	51,8 ^b	22,9 ^a	24,6 ^a	1,1 ^b
DMS_{0,05}	3,5	2,6	4,1	0,6
P>F	0,000	0,004	0,000	0,000

Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre cada época (P<0,05)

Fuente: Elaboración propia.

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

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

Tratamientos	Componentes			Relación hoja:tallo
	Hoja (%)	Tallo comestible (%)	Tallo leñoso (%)	
G	63,2	19,4 ^b	17,4	1,8
L	61,6	19,1 ^b	19,3	1,7
M	60,0	26,2 ^a	---	2,3
L +G	58,9	19,3 ^b	21,8	1,5
L +M	59,6	20,4 ^b	20,0	1,7
DMS_{0,05}		4,2		
P>F	0,503	0,007	0,542	0,063

L= *L. leucocephala* en monocultivo; G= *G. ulmifolia* en monocultivo; M=*M. oleifera* en monocultivo; L+G= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; L+M = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleifera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

De las variables de respuesta evaluadas sólo se observaron diferencias estadísticas significativas en la interacción entre épocas y tratamientos en el porcentaje de hojas (tabla 4), donde *M. oleifera* obtuvo el mayor valor (76,2 %), seguido de *G. ulmifolia* (69,0 %), el tratamiento que registró el menor porcentaje fue la asociación de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* (65,8 %). Mientras tanto en la época de lluvias *M. oleifera* registró el menor porcentaje de hojas (43,2 %), mientras que *G. ulmifolia*,

L. leucocephala y la asociación de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, reportan valores estadísticamente iguales (57,3, 56,3 y 52,0 %, para el orden indicado de las especies).

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

Tratamientos	Componentes							
	Hoja (%)		Tallo comestible (%)		Tallo leñoso (%)		Relación hoja: tallo	
	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia
G	69,0 ^{ab}	57,3 ^a	18,6	20,3	12,4	22,4	2,3	1,4
L	66,9 ^b	56,3 ^a	17,7	20,4	15,4	23,3	2,0	1,3
M	76,2 ^a	43,2 ^b	23,8	28,6	-----	28,2	3,9	0,8
L + G	65,8 ^b	52,0 ^a	18,5	20,2	15,8	27,8	1,9	1,1
L + M	69,2 ^{ab}	50,0 ^{ab}	15,6	25,2	15,5	24,8	2,4	1,0
DMS_{0,05}	7,8	7,8						

L= *L. leucocephala* en monocultivo; **G**= *G. ulmifolia* en monocultivo; **M**=*M. oleifera* en monocultivo; **L+G**= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; **L+M** = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleifera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

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

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

Tabla 5. Efecto de la época en cada uno de los tratamientos para los componentes del follaje de *L.*

leucocephala, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros en Yucatán, México.

Tratamientos	Componentes							
	Hoja (%)		Tallo comestible (%)		Tallo leñoso (%)		Relación hoja: tallo	
	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia
G	69,0 ^a	57,3 ^b	18,6	20,3	12,4	22,4	2,3	1,4
L	66,9 ^a	56,3 ^b	17,7	20,4	15,4	23,3	2,0	1,3
M	76,2 ^a	43,2 ^b	23,8	28,6	---	28,2	3,9	0,8
L + G	65,8 ^a	52,0 ^b	18,5	20,2	15,8	27,8	1,9	1,1
L + M	69,2 ^a	50,0 ^c	15,6	25,2	15,5	24,8	2,4	1,0
DMS_{0,05}	7,8	7,8						

L= *L. leucocephala* en monocultivo; G= *G. ulmifolia* en monocultivo; M=*M. oleifera* en monocultivo; L+G=asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; L+M = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleifera*
Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0,05).
Fuente: Elaboración propia.

Por su parte Wagner y Colón (2007), en un estudio sobre alturas, frecuencia de corte en la relación hoja: tallo y rendimiento de *Guazuma ulmifolia*, *Gliciridiasepium* y *Albizialebeck* en República Dominicana, encontraron diferencias significativas en la relación hoja: tallo para *G. ulmifolia* con valores de 1,6 y 3,2 con frecuencias de corte de 60 y 75 días, manifestando que hay una tendencia mayor en esta relación a medida que aumenta la frecuencia de corte. Igualmente agregan que la cantidad de hojas producidas es un indicativo para estimar la cantidad de forraje ofrecido y está relacionado con el consumo voluntario y la digestibilidad tal como lo señalan Lizárraga *et al.* (2001), quienes indican una relación hoja: tallo para *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* de 1,4 y 1,6, respectivamente.

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

Rendimiento de forraje

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

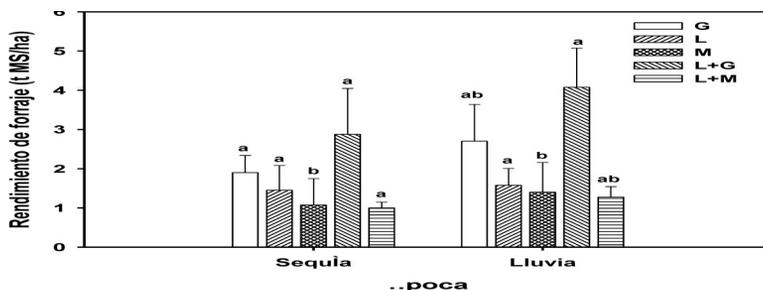


Figura 3. Producción de forraje acumulado de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleífera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros, podados a intervalos de 3 meses en Yucatán, México. Medias \pm error estándar con literales distintas difieren estadísticamente ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

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

leucocephala en densidades de 10.000 y 20.000 arb. /ha, en el estado Trujillo, Venezuela de 2,4 t MS/ha para la temporada de sequía y 4,4 t MS/ha para el periodo de lluvias.

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

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

La producción de forraje acumulada durante el año, fue estadísticamente significativa entre los tratamientos ($P \leq 0,05$), tal como se muestra en la figura 4. *G. ulmifolia* en monocultivo logró la mayor producción (4,6 t MS/ha/año), seguida de *L. leucocephala* y *M. oleífera* con 3,0 t MS/ha/año y 2,5 t MS/ha/año, respectivamente. La asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* obtuvo la mayor producción (7,0 t MS/ha/año) y cuando está asociada con *M. oleífera* solamente produjo 2,3 t MS/ha/año. Comparando estos resultados con los trabajos realizados por Solorio (2005) y Reyes (2009), en el mismo banco de forraje se tiene que para *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* en monocultivo reportan valores superiores y menores para *M. oleífera*, asimismo en las asociaciones Solorio (2005) indica 9,0 t MS/ha/año para *L. leucocephala* con *G. ulmifolia*, mientras que Reyes (2009) señala un valor de 7,1 t MS/ha/año, cantidad similar a la encontrada en esta investigación. Del mismo modo para la asociación de *L. leucocephala* con *M. oleífera*, los autores

anteriormente mencionados señalan valores superiores de 5,9 y 5,0 t MS/ha/año, respectivamente. Es de hacer notar que los trabajos referenciados fueron realizados en los años 2003 el primero y 2008 el segundo, por lo que la edad de las plantas influye en la producción acumulada de forraje, igualmente el régimen de precipitaciones y temperaturas para el periodo de experimentación (ver figura 1) no fue favorable para la producción de biomasa (Petit, *et al.*, 2010).

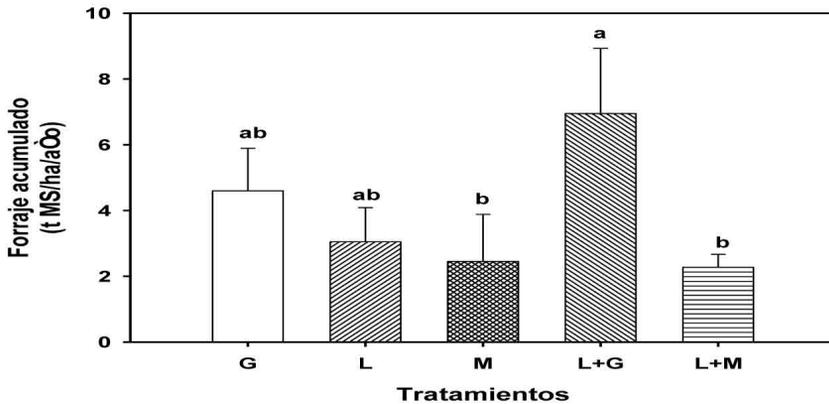


Figura 4. Producción de forraje acumulado de *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *M. oleifera* en monocultivo y asociadas en bancos forrajeros, podados a intervalos de 3 meses en Yucatán, México. Medias \pm error estándar con literales distintas difieren estadísticamente ($P < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

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

Composición química del forraje

El follaje de arbustivas y arbóreas tropicales representa una

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

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

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

Época	Composición química (g/kg)					
	PC	FDN	FDA	C	N	Relación C:N
Sequía	177,9 ^a	417,7 ^b	290,4 ^b	424,3 ^b	26,3 ^b	12,3 ^a
Lluvia	164,0 ^a	464,5 ^a	360,2 ^a	430,5 ^a	28,5 ^a	15,9 ^a
DMS _{0,05}	14,0	9,08	19,7	2,6	2,2	-
P<F	0,049	0,000	0,001	0,000	0,045	0,055

Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre cada época ($P < 0,05$)

Fuente: Elaboración propia.

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

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

L. leucocephala (479,3, 468,2 y 465,5 g/kg, respectivamente). En cuanto al C el tratamiento que registró la mayor cantidad fue *L. leucocephala* (438,0 g/kg), en lo que respecta al N los mejores tratamientos fueron: *L. leucocephala*, *L. leucocephala* con *M. oleífera* y *M. oleífera* (31,2, 29,8 y 29,7 g/kg; respectivamente).

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

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

Tratamientos	Composición química (g/kg)					
	PC	FDN	FDA	C	N	Relación C:N
G	124,2 ^c	479,3 ^a	327,9 ^a	428,2 ^{bc}	19,9 ^c	18,9 ^a
L	195,1 ^a	465,5 ^a	344,7 ^a	438,0 ^a	31,2 ^a	13,1 ^a
M	185,8 ^a	367,3 ^c	306,7 ^a	412,8 ^d	29,7 ^a	12,1 ^a
L +G	163,4 ^b	468,2 ^a	330,3 ^a	432,0 ^b	26,2 ^b	14,1 ^a
L +M	186,4 ^a	424,5 ^b	316,9 ^a	426,5 ^c	29,9 ^a	12,4 ^a
DMS_{0,05}	22,9	14,4	-	4,1	3,5	2,7
P<F						
T x E	0,000	0,000	0,159	0,000	0,000	0,132
	0,340	0,005	0,162	0,702	0,329	0,718

L= *L. leucocephala* en monocultivo; G= *G. ulmifolia* en monocultivo; M=*M. oleífera* en monocultivo; L+G= asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*; L+M = asociación de *L. leucocephala* y *M. oleífera*. Medias con literales distintas difieren estadísticamente entre tratamientos en cada época (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

Como se manifestó anteriormente la FDN fue la única variable que reportó interacción entre épocas y tratamientos al realizar el análisis del comportamiento de los tratamientos en cada una de las épocas evaluadas (tabla 8), se determinó que en la temporada de sequía la mayor concentración FDN fue para *G. ulmifolia* (471,9 g/kg), mientras que en la época de lluvias *L. leucocephala* fue la que obtuvo la cantidad más alta (504,1 g/kg), ambas en monocultivo.

En la tabla 9 se presenta el efecto de la época sobre los tratamientos donde se aprecia que *G. ulmifolia* tiene un comportamiento similar en las dos épocas, mientras que el resto de los tratamientos registran un comportamiento estadísticamente diferente, además se

observa que en la época de lluvia todos los tratamiento reportan los mayores contenidos de FDN.

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

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

Tratamientos	Composición química (g/kg)												Relación C:N			
	PC		FDN		FDA		C		N		Sequia		Lluvia		Sequia	Lluvia
	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia
G	127,0	121,4	471,9 ^a	487,6 ^b	286,1	369,8	425,2	431,2	20,3	19,4	15,0	22,7	13,1	13,1	13,1	13,1
L	178,1	212,0	426,9 ^c	504,1 ^a	299,8	389,6	434,6	441,2	28,5	33,9	10,3	13,9	12,0	16,3	12,0	16,3
M	183,4	188,3	348,2 ^e	386,5 ^d	296,7	316,7	408,1	417,4	29,3	30,1	10,3	13,9	12,0	16,3	12,0	16,3
L + G	159,0	167,7	441,6 ^b	494,7 ^{ab}	288,3	372,2	430,0	433,9	25,4	26,8	11,3	13,4	11,3	13,4	11,3	13,4
L + M	172,5	200,0	399,6 ^d	449,5 ^c	281,1	352,7	423,8	429,1	27,6	32,0	11,3	13,4	11,3	13,4	11,3	13,4
DMS _{0,05}			14,35	14,35												

Fuente: Elaboración propia.

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

Tratamientos	Composición química (g/kg)											
	PC		FDN		FDA		C		N		Relación C:N	
	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia	Sequia	Lluvia
G	127,0	121,4	471,9 ^a	487,6 ^a	286,1	369,8	425,2	431,2	20,3	19,4	15,0	22,7
L	178,1	212,0	426,9 ^b	504,1 ^a	299,8	389,6	434,6	441,2	28,5	33,9	13,1	13,1
M	183,4	188,3	348,2 ^b	386,5 ^a	296,7	316,7	408,1	417,4	29,3	30,1	10,3	13,9
L + G	159,0	167,7	441,6 ^b	494,7 ^a	288,3	372,2	430,0	433,9	25,4	26,8	12,0	16,3
L + M	172,5	200,0	399,6 ^b	449,5 ^a	281,1	352,7	423,8	429,1	27,6	32,0	11,3	13,4
DMS _{0,05}			14,35	14,35								

Fuente: Elaboración propia.

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

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

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

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

En general todas las especies en monocultivo y en asociaciones tienen concentraciones de PC que pueden considerarse moderadas (121 a 200g/kg), no obstante, cuando son analizadas sin tomar en consideración el consumo pueden ser mal interpretadas como aptas

para la producción animal. Nieto-Marin *et al.*, (2001) argumentan que los árboles forrajeros al tener una concentración aceptable de PC, se pueden utilizar como suplemento en la época de escasez. Sin embargo, esto tendría un valor limitado si no se toma en cuenta el comportamiento del animal como el principal evaluador de follajes.

La digestibilidad de los forrajes está muy relacionada con la proporción y grado de lignificación de las paredes celulares (FDN), así como la presencia de compuestos secundarios principalmente taninos (Norton, 1994; Dzowella *et al.*, 1995). Las especies estudiadas en este trabajo tanto en monocultivo como en asociación mostraron valores de FDN dentro de rangos reportados para árboles forrajeros, no obstante algunas pequeñas diferencias pueden ser debidas a la edad de los tejidos, al manejo y a las variaciones climáticas (López *et al.*, 2008). Sin embargo, estos valores son menores cuando se contrastan con la mayoría de las gramíneas tropicales, lo cual demuestra su calidad potencial (Rosales y Gil, 1997). Lo anterior implica que las gramíneas tienen más elementos estructurales cuando maduran (*e.g.* lignina, celulosa y hemicelulosa) que el follaje de los árboles y menor contenido de N, lo que les proporciona una ventaja sobre la digestibilidad, consumo de forraje y efecto sobre la producción animal (Van Soest, 1996). En este mismo sentido los valores de FDA estuvieron entre los rangos reportados para árboles productores de forraje, pero inferiores al compararlos con las gramíneas (Van Soest, 1982; Nandra *et al.*, 1993). En ambos casos la FDN y la FDA son afectadas por el estado de la planta, observando que a mayor madurez mayor contenido de FND y FDA, recíprocamente (Minson, 1990).

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

principalmente a los tejidos con mayor contenido de lignina (López *et al.*, 2008).

Alvarado *et al.*, (2007), en un estudio sobre concentración de C y N a seis frecuencias de poda en *Gliricidia sepium* y *Erythrina sp*, reportan que el contenido de C para el follaje de estas especies fue de 440,4 y 433,8 g/kg, respectivamente, cuando los árboles fueron podados a 80 cm de la base del tallo. Por otro lado, Parrota (1999), informa que en plantaciones puras y mixtas (50:50) de dos especies fijadoras de N, *Casuarina equisetifolia* y *Leucaena leucocephala*, y una especie no fijadora, *Eucalyptus robusta*, señala concentraciones de C en follaje para las especies en monocultivo en el orden de 438 y 416g/kg para las especies fijadoras de N, y 444 g/kg para *E. robusta*. Asimismo en las plantaciones mixtas encontró lo siguiente: *C. equisetifolia* + *E. robusta* (437 g/kg); *C. equisetifolia* + *L. leucocephala* (434 g/kg) y *E. robusta* + *L. leucocephala* (443 g/kg), concentraciones similares a las reportadas en este trabajo, tanto para las especies en monocultivos como para las asociaciones.

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

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

Rothe y Binkley (2001), expresan que pocos estudios han comparado las concentraciones de nutrientes de mezcla de especies en plantaciones mixtas, a menudo sólo se mide N y P y en su mayoría sólo se considera la especie más valiosa. La tendencia general es que la concentración de nutrimentos en el follaje de los árboles en las mezclas puede ser mayor, igual o inferior en comparación con el monocultivo. Por ejemplo en una plantación mixta de 8 años de edad de *Eucalyptus saligna* y *Albizia falcataria* en Hawái, las concentraciones de N y P en los árboles de eucalipto estuvieron entre el 20 al 30% mayores que en las parcelas mixtas con 66% de *Albizia falcataria*. En contraste a esto Khanna (1997,) señala que en un ensayo de plantaciones mixtas de *Eucalyptus globulus* y *Acacia mearnsii*, el aumento en la disponibilidad de nutrientes surgió a los 25 meses, cuando los incrementos en las concentraciones de N en el follaje senescente de *E. globulus* se produjo en las plantaciones mixtas en comparación con las plantaciones puras. Richards *et al.* (2010), explican que las concentraciones de N foliar aumentan significativamente en las mezclas que contienen especies fijadoras de N en comparación con los monocultivos, puesto que explican el potencial de altas tasas de fotosíntesis y una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

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

Numerosos estudios reportan que la relación C: N, las concentraciones lignina y polifenoles de la planta controlan los factores del proceso de descomposición (Ball y Drake, 1997; Tian *et al.*, 1995; Valenzuela - Solano y Crohn, 2006). Estas disertaciones han demostrado que el material con un contenido de lignina bajo y alto en nitrógeno generalmente se descompone más rápido que el material con más lignina y menos nitrógeno. Asimismo, otros trabajos han señalado que la relación C:N explica la digestibilidad de los forrajes y determina el funcionamiento

del rúmen, y por lo tanto, el nivel de producción de metano (Montenegro y Abarca, 2000). En este sentido los valores de la relación C:N reportados en este trabajo son intermedios por lo que se ratifica su potencialidad para la alimentación de los rebaños.

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

Conclusiones

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

El rendimiento de forraje fue mayor en la época de lluvias y en ambas épocas la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* produjo la mayor cosecha de forraje, con una producción acumulada de 7,0 t MS/ha/año.

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

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

Agradecimientos

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

Referencias Bibliográficas

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

- de Agronomía Tropical y 2do Simposio Nacional Agroalimentario [Versión electrónica en disco compacto]. Del 26 al 28 de agosto. Villahermosa, Tabasco, México.
- CASANOVA, F., RAMÍREZ, L. y SOLORIO, F. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. **Avances en Investigación Agropecuaria**. 11 (3): 41-52.
- CASANOVA, F., RAMÍREZ, L. y SOLORIO, F. 2010. Effect of pruning interval on foliage and root biomass in forage tree species in monoculture and in association. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**. 12: 33-41.
- CHAKEREDZA, S., HOVE, L., AKINNIFESI, F., FRANZEL, S., AJAYI, O. y SILESHI, G. 2007. Managing fodder trees as a solution to human-livestock food conflicts and their contribution to income generation for smallholder farmers in southern Africa. **Natural Resources Forum**. 31: 286-296.
- DZOWELLA, B., HOVE, L. y TOPPS, J. 1995. Nutritional and antinutritional characters and rumen degradability of dry matter and nitrogen for some tree species with potential for agroforestry in Zimbabwe. **Animal Feed Science and Technology** 55:207-214
- FERREIRA, P., FARIAS, D., OLIVEIRA, J. y CARVALHO, A. 2008. **Moringa oleifera: bioactive compounds and nutritional potential**. *Rev. Nutr.*[online]. vol.21, n.4, pp. 431-437.consultado 6 de Enero 2011 de www.scielo.br/scielo.php
- FLORES, O., BOLÍVAR, M., BOTERO, J. E IBRAHIM, M. 1998. **Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajera para la suplementación de rumiantes en el trópico** *Livestock Research for Rural Development* Vol. 10(1) Consulta 24 de diciembre de <http://www.fao.org/Ag/aga/AGAP/FRG/FEEDback/lrrd/lrrd10/1/cati101.htm>
- FORRESTER, D., BAUHUS, J. y COWIE, A.2005. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globules* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management** 209:147-155

- FRANCISCO, G., SIMÓN, L. y SOCA, M. 1997. Efecto de tres alturas de corte en el rendimiento de biomasa de *Leucaena leucocephala* cv. Cnia-250. **Pastos y forrajes** 21 (4): 25 – 47.
- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. México, D.F.
- GARCÍA, L., CLAVERO, T., RAZZ, R., ESPARZA, D., MAVARES, O. y TERÁN, L. 1997. Efecto de diferentes láminas de riego sobre el crecimiento vegetativo de la *Leucaena leucocephala*. (Lam.) **De Wit. Rev. Fac. Agron.** 17: 78-89.
- GARCÍA, D., MEDINA, M., CLAVERO, T., COVA, L., DOMÍNGUEZ, J. y BALDIZÁN, A. 2008. Caracterización nutritiva del follaje de 6 especies forrajeras con énfasis en sus perfiles polifenólicos. **Revista Científica, FCV-LUZ.** Vol. XVIII, N° 2, 188-196.
- GARCÍA, D., MEDINA, M., DOMÍNGUEZ, C., BALDIZÁN, A., HUMBRÍA, J. y COVA, L. 2006. Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. **Zootecnia Trop.** 24(4), 401-415.
- HAMBURG, S. 2000. Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.** 5(1): 25-37.
- HARMAND, J., FORKONG, N., BERNHARD-REVERSAT, F. y PUIG, H. 2004. Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. **Forest Ecology and Management.** 188: 249-265.
- HERNÁNDEZ, I; SIMÓN, L. y DUQUESNE, P. 2001. Evaluación de las arbóreas *Albizia lebeck*, *Bauhinia purpurea* y *Leucaena leucocephala* asociadas con pasto bajo pastoreo. In Sánchez, M; Rosales, M. eds. **Agroforestería para la producción animal en América Latina II.** Roma, FAO. 343 p.
- HOVE, L., FRANZEL, S. y MOYO, P. 2003. Farmer experiences on the production and utilization of fodder trees in Zimbabwe. Constraints and opportunities for increased adoption. **Tropical Grasslands,** 37: 279–283.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC).2005. Special report on Carbon Dioxide Capture and Storage (Prepared by working group III of the IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York (USA). 442p
- KHANNA, P. 1997. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**. 94(1-3): 105-113.
- KIRBY, K. y POTVIN, C. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**. 246: 208-221.
- KÚ-VERA, J., RAMÍREZ, L., JIMÉNEZ, G., ALAYON, A. y RAMÍREZ, L. 1999. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico. En: Sánchez, M.D. y Rosales, M.M. (eds). **Agroforestería para la producción animal en América Latina**. Roma Italia. Pp. 231-258.
- LACLAU, P. 2003. Plant biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagonia plantation. **Forest Ecology and Management**.173: 353-360.
- LATT, C., NAIR, P. y KANG,B. 2000. Interaction among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Gliricidia sepium*, and *Leucaena leucocephala*. **Agroforestry Systems**. 50: 27-46.
- LIZÁRRAGA, H., SOLORIO, F. y SANDOVAL, C. 2001. Evaluación agronómica de especies arbóreas para la producción de forraje en la Península de Yucatán. **Livestock Research for Rural Development**. 13 (6) 1-10.
- LLAMAS, E. 2004. Rendimiento y calidad de forraje de árboles forrajeros en una cantera en Mérida, Yucatan, Mexico. Tesis de Maestro en Ciencias en manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Universidad Autonoma de Yucatan, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 109 p.
- LÓPEZ, M., RIVERA, J., ORTEGA, L., ESCOBEDO, J., MAGAÑA, M., SANGINÉS, J. y SIERRA, A. 2008. Contenido nutritivo y factores anti nutricionales de plantas nativas forrajeras del norte de Quintana

- Roo. ***Técnica Pecuaria en México***. 46(2): 205-215.
- LUCERO, C. 2009. **Evaluación agronómica de *G. ulmifolia* dos densidades de siembra en sistemas silvopastoriles con *Barrecta***. Consulta: 30 de mayo, 2010 de <http://www.agronet.gov.co>
- MAYA, G., DURÁN, C. y ARARAT, J. 2005. Altura, disponibilidad de forraje y relación hoja tallo del pasto estrella solo y asociado con *Leucaena*. ***Acta Agronómica***. 54(4)363-371.
- MINSON, D. 1990. **Forage in ruminant nutrition**. London: Academic Press, Inc.
- MONTENEGRO, J. y ABARCA, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: **Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales**. CATIE - FAO - SIDE. Ed Nuestra Tierra. 334 p.
- MORENO, J. y NARVÁEZ, O. 2005. Evaluación de la producción de forraje de *Moringa oleifera* (Lam), *Cnidioscolusa conitifolium* (Mill) L.M. Johnst y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit, para banco proteico en Pacora, San Francisco Libre. Tesis licenciatura. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 52 p.
- NANDRA, K, HENDRY, A. y DOBOS, R. 1993. Study of voluntary intake and digestibility of roughages in relation to their degradation characteristics and retention time in the rumen. ***Anim Feed Sci Technol***. 43:227-237.
- NAVAS, A. 2007. **Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles** **Revista ACOVEZ**, N° 106.15:26 Consulta 26 de diciembre 2010 de <http://www.acovez.org>
- NIETO-MARIN, C., MONFORTE-BRAGA, G., AYALA-BURGOS, A., RÍOS-ARJONA, G., SANDOVAL-CASTRO, C., RAMÍREZ-AVILÉS, L. y HOVELL-DEB, F. 2001 Short-Intake of six local forage trees in Yucatan, México to local zebu cattle (*Bos indicus*). **Proceedings of the Nutrition Society**. 60: 29
- NORTON, W. 1994. Anti-nutritive and toxic factors in forage tree legumes.

- In*: Gutteridge R C and Shelton H M, editors. **Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture**. Wallingford, G.B., CAB International. Consulta: 30 de diciembre, 2010 de <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/Gutt-shel/x5556e0j.htm#4.1> the nutritive value of tree legumes
- NORTON, W. 1994. The nutritive value of Leucaena species *In*: Gutteridge R C and Shelton H M, editors. **Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture**. Wallingford, G.B., CAB International Consulta: 30 de diciembre, 2010 de <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/Gutt-shel/x5556e0j.htm#4.1> the nutritive value of tree legumes
- NYAATA, O., O'NEIL, M., ROTHART, R. 1998. Comparison of *Leucaena leucocephala* with *Calliandra calothyrsus* in napier (*Pennisetum purpureum*) fodder banks. *In*: Shelton HM, Gutteridge RC, Mullen BF, Bray RA editors. **Leucaena adaptation quality and farming systems**. Canberra: Australian Centre Internat Agric Res. ACT 2601. 257-260.
- PALMA, J. 2005. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. XIX Reunión de ALPA y XXXIII Reunión de la Asociación Mexicana de Producción Animal – AMPA. Tampico, México, 26-20 de octubre 2005. 95-104.
- PARROTTA, J. 1999. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of ***Casuarinaequisetifolia***, ***Eucalyptus robusta***, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. ***Forest Ecology and Management*** 124 (1999) 45-77
- PETIT, J., CASANOVA, F. y SOLORIO, F. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos. ***Agricultura Técnica en México***. 35 (11): 107-116.
- PETIT, J., CASANOVA, F., y SOLORIO, F. 2010. Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. ***Revista Forestal Venezolana***. 54 (2)
- PEZO, D. e IBRAHIM, M. 1998. **Sistemas Silvopastoriles**. Módulo de Enseñanza Agroforestal N°. 2. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. 258 p.

- RAMÍREZ, L., KU-VERA, J. y ALAYÓN, J. 2007. Follaje de árboles y arbustos en los sistemas de producción bovina de doble propósito. **Arch. Latinoam. Prod. Anim**, 15(1). 251-264.
- RAMÍREZ, L., PETIT, J. y KU-VERA, J. 2009. Producción Ovina en sistemas agroforestales en el trópico. XIV Congreso Latinoamericano de Buiatría, 15-17 de septiembre de 2009, Lima-Perú. pp: 1-11
- REYES, J. 2009. Efecto de la edad de rebrote sobre el rendimiento, composición química y digestibilidad del forraje de árboles (monocultivos y asociados). Equiparabilidad de las técnicas *In vitro* e *In situ* para estimar la digestibilidad de la MS. Tesis Maestría en Producción Animal Tropical. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Facultad de Medicina Veterinaria.UADY.57 p.
- RICHARDS, A., FORRESTER, D., BAUHUS, J. y SCHERER-LORENZEN, M. 2010. **The influence of mixed tree plantations on the nutrition of individual species: a review**. Tree Physiology Advance Access published May 14, 2010. *Tree Physiology*: 1-17. Consulta 22 de Mayo, 2010 de <http://treephys.oxfordjournals.org>
- ROSALES, M. y GIL, M. 1997. Tree mixtures within integrated farming systems. Second FAO Electronic Conference on Tropical Feeds Livestock Feed Resources within Integrated Farming Systems. 1-14.
- ROTHE, A., y BINKLEY, D. 2001. Nutritional interactions in mixed species forests: a synthesis. **Can. J. For. Res.** 31: 1855-1870
- RUIZ, T. y FEBLES, G. 1987. **Leucaena, una opción para la alimentación bovina en el trópico y subtrópico**. EDICA. La Habana, Cuba.
- SAAVEDRA, E., RODRÍGUEZ, N., DE SOUSA COSTA, N. 1987. Producción de forraje, valor nutritivo y consumo de *Leucaena leucocephala*. **Past Trop**, 9(2): 6-10.
- SÁNCHEZ, A., ROMERO, C., ARAQUE, C. y FLORES, R. 2005. Producción de materia seca de *Leucaena leucocephala* a diferentes edades de corte y épocas del año bajo un sistema de riego artesanal. **Zootecnia Tropical** 23 (1): 45- 62.
- SCHEAFFER, R., MENDENHALL, W. y OTT, .L. 1993. **Elementos de muestreo**. Grupo Editorial Iberoamericana. México. 321 p.

- SHELTON, M. Y JONES, J. 1994. Opportunities and limitations in *Leucaena*. En Shelton H.M., C.M. Piggitt y J. L. Brewbaker. (Eds). ***Leucaena. Opportunities and Limitations***. ACIAR Proceedings N° 57. Canberra, Australia. pp. 16-23. Consulta 24 de diciembre 2010 de <http://aciar.gov.au/publication/PR057> .
- SOLORIO, F. 2005. Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non/leguminous shrubs. Ph. D. Thesis. Institute of Atmospheric and Environment Science. Edinburgh, Scotland. 200 p.
- TIAN, G., BRUSSAARD, L. y KANG, B. 1995. Breakdown of plant residues with contrasting chemical-compositions under humid tropical conditions- effect of earthworms and millipedes. ***Soil Biol Biochem*** 27:277–280
- TORRES, A., ZERPA, A. y ROMERO, R. 2002. Análisis fenológico cuantitativo, producción de biomasa y efecto en la calidad de la leche bovina de dos modalidades de siembra de bancos de *Leucaena leucocephala* Lam de Wit. En la zona baja del Edo Trujillo. ***Revista Científica***. Vol. XII-Suplemento 2:497-501.
- VALENZUELA-SOLANO, C. y CROHN, D. 2006. Are decomposition and N release from organic mulches determined mainly by their chemical composition? ***Soil Biol Biochem*** 38:377–384
- VAN SOEST, P. 1996. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2a ed. Ithaca, NY, USA: Cornell University Press.
- WAGNER, B. y COLÓN, R. 2007. Alturas y frecuencias de corte en la relación hoja/tallo y rendimiento de Guazuma (*Guazuma ulmifolia*), piñón (*Gliricidiasepium*) y chacha (*Albizialebeck*). Proceedings of the 43rd Annual Meeting. Caribbean Food Crops Society. September 16-22, 2007. Pp.99-104.

