

Acumulación de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo

*Carbon storage in biomass of **Leucaena leucocephala** and **Guazuma ulmifolia** both in intercropping and monoculture systems*

FERNÁNDO CASANOVA LUGO¹,
JESÚS CAAMAL MALDONADO¹,
JUDITH PETIT ALDANA²,
FRANCISCO SOLORIO SANCHEZ¹
y JOSÉ CASTILLO CAAMAL¹

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

Recibido: 20-11-09 / Aceptado: 20-02-10

Resumen

La utilización de especies leñosas forrajeras es una alternativa a la baja disponibilidad de forraje en la época seca en zonas tropicales del sureste de México, sin embargo, se desconoce el potencial de secuestro de carbono de dichas especies. Se estimó la cantidad de carbono en la biomasa aérea, radical y hojarasca en parcelas de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. y *Guazuma ulmifolia* Lam. en monocultivo y asociadas en condiciones tropicales. Las unidades experimentales estuvieron conformadas en un diseño de bloques completamente al azar con tres réplicas. La densidad total en monocultivo y asociado fue 10.000 y 20.000 plantas/ha, respectivamente. *G. ulmifolia* en monocultivo almacenó la mayor cantidad de carbono, seguido de *L. leucocephala* en monocultivo y la asociación de ambas especies leñosas con 14,7, 10,4 y 9,0 t/ha, respectivamente. *L. leucocephala* en monocultivo tuvo mayor carbono en las raíces (8,1 t/ha), seguido *G. ulmifolia* en monocultivo y la asociación de ambas especies (6,1 y 4,4 t/ha, respectivamente). Por otra parte, la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* acumuló la mayor carbono en la hojarasca con 1,6 t/ha, seguido de sus respectivos monocultivos (1,0 t/ha). El carbono total difiere entre arreglos, debido a que la asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* fue ligeramente menor (14,9 t/ha), que sus respectivos monocultivos (19,5 y 21,8 t/ha). La asociación de leñosas provoca en ambas especies bajos incrementos; en consecuencia la acumulación de carbono es menor que en los monocultivos.

Palabras clave: especies leñosas, follaje, hojarasca, raíces.

Abstract

The use of fodder woody species is an alternative to the low availability of forage in the dry season in tropical areas of southeastern Mexico; however, carbon sequestration potential of these species is unknown. The amount of carbon in aboveground biomass, root and leaf litter in plots of *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. and *Guazuma ulmifolia* Lam. in monoculture and intercropping in tropical conditions was estimated. The experimental units were formed in a randomized complete block design with three replications. Monoculture and associated tree density were 10,000 and 20,000 plants/ha, respectively. *G. ulmifolia* in monoculture stored the greater amount of carbon, followed by *L. leucocephala* in monoculture and the association in both species 14.7, 10.4 and 9.0 t/ha, respectively. *L. leucocephala* in monoculture accumulated more carbon (8.1 t/ha), followed by *G. ulmifolia* in monoculture and the association of both species (6.1 and 4.4 t/ha, respectively). Moreover, the association *L. leucocephala* with *G. ulmifolia* accumulated the highest carbon in the litter with 1.6 t/ha, followed by their respective monoculture (1.0 t/ha). The total carbon differs between arrangements, because the association of *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* was slightly lower (14.9 t/ha), their respective monocultures (19.5 and 21.8 t/ha). The association of woody causes slow increase in both species; therefore the accumulation of carbon is less than monocultures.

Key words: foliage, litter, root systems, woody species.

1. Introducción

En el trópico subhúmedo el crecimiento de las actividades agropecuarias de carácter extensivo ha propiciado una acelerada pérdida de recursos naturales. Algunos problemas que enfrenta esta región

son la deforestación de selvas, el sobrepastoreo, el incremento de incendios, la pérdida de biodiversidad, la contaminación de agua y vulnerabilidad al cambio climático (Carranza *et al.*, 2003).

La agroforestería, la cual conjuga el uso de árboles o arbustos, cultivos y/o animales constituye

una opción productiva y de servicios ambientales para revertir la degradación de los recursos (Nair, 2004). Las especies arbóreas y arbustivas nativas en el contexto de la ganadería pueden reducir la problemática de baja disponibilidad y calidad del forraje en la época seca (Ku-Vera *et al.*, 1999).

Al respecto, los trópicos se caracterizan por poseer una gran diversidad de especies nativas que pueden ser utilizadas para la alimentación animal, tal es el caso de *G. ulmifolia* Lam., *Enterolobium cyclocarpum* Jacq., *Brosimum alicastrum* Sw. y otras de los géneros *Leucaena* y *Acacia* (Villa-Herrera *et al.*, 2009).

Se ha generado mucha investigación de la incorporación de *L. leucocephala* en sistemas silvopastoriles, aunque existe poca información sobre otras especies como *G. ulmifolia* asociada con esta leguminosa de gran uso en las zonas tropicales del sureste de México. Asimismo, se desconoce el potencial de secuestro de carbono de estas especies, donde el pago por servicios ambientales podría resultar un ingreso adicional al productor, además contribuir a reducir la emisión de gases efecto invernadero. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue, estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea, radical y hojarasca en parcelas *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* asociadas y en monocultivo en condiciones de trópico subhúmedo durante la época de seca.

2. Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, durante el periodo comprendido de enero a julio de 2009. La zona presenta un clima Aw₀, con una precipitación promedio anual de 953 mm. La humedad relativa varía de 66 y 85%, en el mes de abril y septiembre, respectivamente (García, 1988). Los suelos predominantes de esta zona son litosoles, de moderada fertilidad y un pH de 7,5 a 7,8 (Bautista *et al.*, 2005).

Las unidades experimentales se establecieron en 2004, estuvieron conformadas por *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y la asociación de ambas en un diseño de bloques completamente al azar, cada arreglo constó de tres réplicas. El arreglo de la plantación fue 2 m entre hileras y 0,5 m entre plantas. Cada postura del monocultivo contó con una planta, mientras que en asociación en cada postura

se dispuso de dos plántulas, una de cada especie. Así, la densidad total en monocultivo y asociado fue 10.000 y 20.000 plantas/ha, respectivamente, aunque la densidad por especie fue constante (10.000 plantas/ha).

Las leñosas forrajeras fueron podadas a 1 m de altura al inicio del experimento; cada 3 meses se cosecha el forraje; dos veces en la época seca (enero y abril) y dos en la época de lluvias (julio y octubre), adicionalmente, en la época seca, se aplicó riego de auxilio 2 veces por semana.

Para cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea y radical se empleó el método destructivo que consistió en tomar tres plantas por especie, en monocultivo y asociada, y extraerla por excavación. Este método es mencionado por Andrade e Ibrahim (2004), con relación a las existencias de carbono en sistemas silvopastoriles. Se registró el peso y diámetro de los tallos principales, el peso y longitud de las raíces. Posteriormente, se tomó una muestra de cada componente de aproximadamente 500 g y fue secada a 60 °C en una secadora de circulación de aire forzado hasta obtener un peso constante y determinar el contenido de MS.

En cada arreglo se tomaron seis muestras de hojarasca, dado que es otro reservorio de carbono en el sistema. Para ello, se utilizó un cuadrante metálico de 0,25 x 0,25 m, el cual fue distribuido aleatoriamente en el interior de cada parcela, posteriormente todas las hojas, flores, ramas y/o tallos dentro de cada cuadrante fueron colectados, secados a 60 °C hasta obtener un peso constante. En este caso, es innecesario estimar la caída de hojarasca, ya que los inventarios de carbono miden el contenido de carbono en cada componente en un momento dado (Andrade e Ibrahim, 2004).

El carbono almacenado en la biomasa aérea, radical y hojarasca, se estimó mediante el uso de una fracción de carbono promedio de 0,5 (IPPC, 2005). Esto último se debe a que aproximadamente el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye el carbono (Hamburg, 2000; Brown, 2002).

En todos los casos, el carbono almacenado se comparó mediante un ANOVA de acuerdo al diseño de bloques al azar con el programa Statgraphics® para Windows versión 5.1. Cuando se presentaron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de error tipo I.

3. Resultados y discusión

El carbono almacenado en la biomasa aérea de la planta difiere entre arreglos ($P \leq 0,05$), el monocultivo de *G. ulmifolia* almacenó la mayor cantidad de carbono, seguido de *L. leucocephala* en monocultivo y la asociación de ambas especies leñosas con 14,7, 10,4 y 9,0 t/ha, respectivamente (Figura 1).

Estudios complementarios indican que *G. ulmifolia*, mostró mejor respuesta que otras leñosas al engrosar el diámetro del tallo dominante e incrementar su capacidad de rebrote, lo que sugiere que esta especie asigna mayor cantidad de recursos a la biomasa aérea (Casanova *et al.*, 2009a). Asimismo, las diferencias pudieran estar relacionadas principalmente con las características genéticas de las especies como estrategia para su sobrevivencia (Comerford, 2005).

En este sentido, Casanova *et al.* (2009a), reportan que *L. leucocephala* generalmente asigna ma-

yor cantidad de recursos a la biomasa subterránea (45%) y con ello el crecimiento de raíces es mayor a diferencia de *G. ulmifolia* (27%).

Estos resultados son de suma importancia dado a que la información es muy escasa debido a las condiciones edáficas particulares de la zona (Bautista *et al.*, 2005). Los sistemas radicales son la parte menos estudiada de los agroecosistemas, sin embargo, pueden representar del 10 al 40% de la biomasa total, debido a que existe una estrecha relación con el tipo de clima y la estacionalidad de la precipitación en las zonas del trópico seco (Andrade y Ibrahim, 2004). Lo anterior concuerda con los resultados de este estudio y reiteran la importancia de la determinación de los sistemas radicales de los agroecosistemas en las zonas tropicales, dado que son importantes reservorios de carbono, además de ser el órgano involucrado principalmente en la regulación fisiológica de la planta (Casanova *et al.*, 2009b; Peichl *et al.*, 2006).

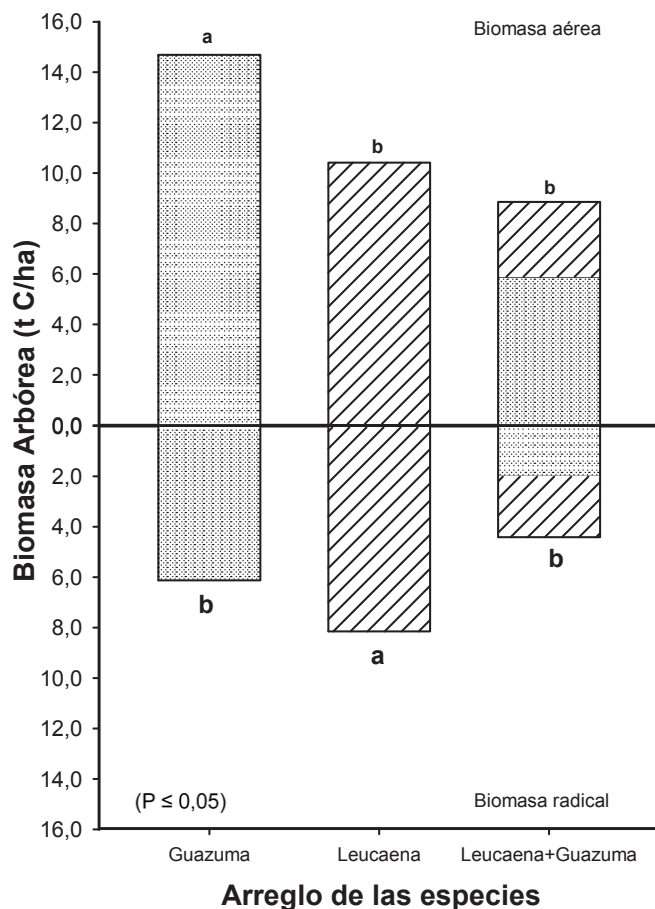


Figura 1. Carbono almacenado en la biomasa aérea y radical de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* de seis años de edad, creciendo asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. Medias con letras distintas difieren estadísticamente al 5%.

Por otra parte, el carbono almacenado en la hojarasca difiere entre arreglos ($P \leq 0,05$), la asociación *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* acumuló la mayor cantidad de carbono con 1,6 t/ha, seguido de sus respectivos monocultivos (1,0 t/ha) (Figura 2).

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

En este sentido, Clark *et al.* (2001), menciona que el aporte de carbono por hojarasca de los árboles para diferentes bosques del trópico seco oscila entre 0,9 y 6,0 t/ha. Estos resultados se encuentran dentro del rango del presente estudio (0,9-1,6 tC/ha) e indican que los sistemas agroforestales generan efectos favorables al ambiente, dado que las reservas de carbono pueden ser similares y en algunos caso mayores que los sistemas naturales (Nair, 2004).

En términos generales, el carbono total acumulado en la biomasa arbórea; considerado la sumatoria de la biomasa aérea y radical de las especies leñosas, y la hojarasca, difiere estadísticamente entre arreglos ($P \leq 0,05$), debido a que la asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* fue ligeramente menor (14,9 t ha⁻¹), que sus respectivos monocultivos (19,5 y 21,8 t/ha) (Figura 3).

Diversos estudios mencionan que la acumulación de carbono está relacionada con el manejo silvícola (Peichl *et al.*, 2006), las condiciones edáficas como textura e historia de uso del suelo, el tiempo de establecimiento y la estructura del sistema (Albrecht y Kandji, 2003).

En este sentido, Delgado *et al.* (2003) reportaron que el incremento de la densidad plantas de *L. leucocephala*, causó una disminución de la biomasa de la leñosa y aumentó el rendimiento de la pastura asociada. Esto está relacionado con el hecho de que a medida que la densidad de plantas se incrementa, se aumenta la tasa de consumo de estos recursos (e.g. luz, agua y nutrimentos), y en consecuencia disminuye la disponibilidad de los mismos en el medio (Davis *et al.*, 1999).

La asociación de especies leñosas actúa de muchas formas, desde una severa competencia, hasta la complementación y/o facilitación (Casanova *et al.*, 2007). Incluso, donde se presenta competencia; lo que podría suceder en este estudio (en el caso del sistema asociado), ésta no es necesariamente negativa para el sistema en su totalidad, ya que pueden presentarse mejoras en el uso de los recursos del suelo; mejor aporte de hojarasca de calidad y mejora en ciclaje de nutrimentos, y en el medio ambiente en general (Petit *et al.*, 2009).

Por otra parte, los resultados de este estudio coinciden con los reportados por Amézquita *et al.*

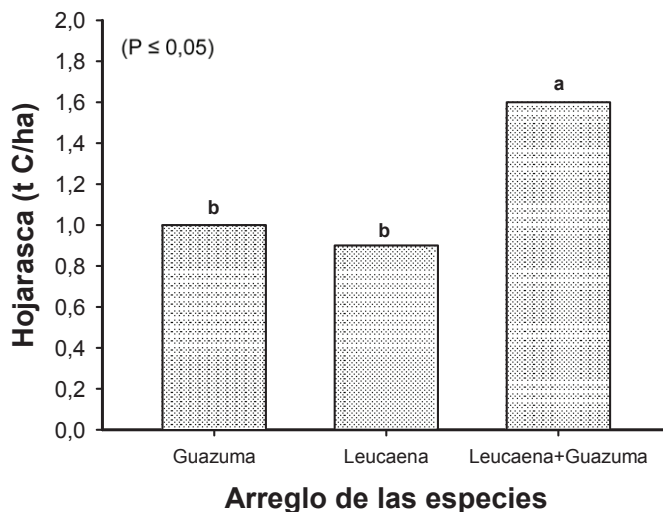


Figura 2. Carbono almacenado en la hojarasca de las parcelas de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* de seis años de edad, creciendo asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. Medias con letras distintas difieren estadísticamente al 5%.

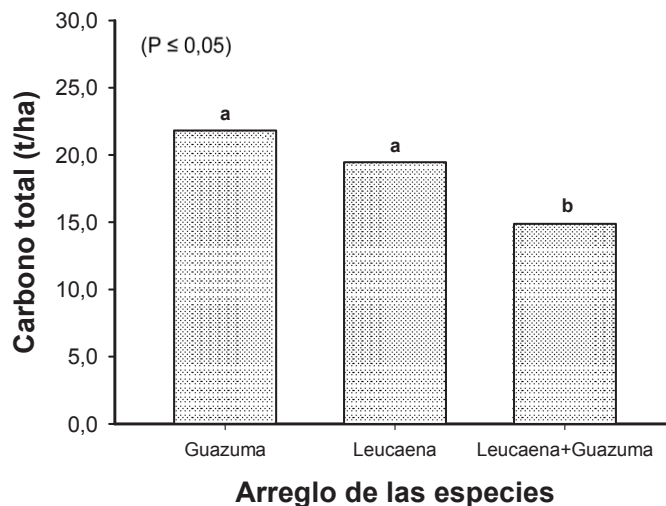


Figura 3. Carbono total almacenado por la biomasa arbórea y la hojarasca en parcelas de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* de seis años de edad, creciendo asociadas y en monocultivo en Yucatán, México. Medias con letras distintas difieren estadísticamente al 5%.

(2008) para un banco de forraje conformado por *Trichantera gigantea*, *Morus* spp., *Erythrina fusca* y *Tithonia diversifolia*, donde se observó que el sistema puede almacenar hasta 18,0 tC/ha en la biomasa.

4. Conclusiones y recomendaciones

El monocultivo de *G. ulmifolia* almacenó una mayor cantidad de carbono en la biomasa aérea, mientras que el monocultivo de *L. leucocephala* en la biomasa radical. En la hojarasca, el arreglo con mayor carbono almacenado fue la asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia*. El carbono total acumulado por unidad de superficie en la asociación de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* fue ligeramente menor que sus respectivos monocultivos.

La asociación de especies leñosas promueve en ambas especies bajos incrementos en la biomasa; en consecuencia la acumulación de carbono es menor que en los monocultivos. Aunque estos datos son de un ciclo de cultivo permiten explicar el comportamiento y origen de las interacciones entre diferentes especies leñosas cuando crecen en el mismo espacio en condiciones de trópico subhúmedo durante la época de seca. Aunado a esto, se espera obtener datos de ciclos subsecuentes para robustecer o reorientar las ideas aquí planteadas.

5. Referencias bibliográficas

- ALBRECHT, A. y S.T. KANDJI. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 99: 15-27.
- AMÉZQUITA, M.C., E. AMÉZQUITA, F. CASASOLA, B.L. RAMÍREZ, H. GIRALDO, M.E. GÓMEZ, T. LLANDERAL, J. VELÁZQUEZ y M.A. IBRAHIM. 2008. C Stocks and sequestration. In: *Carbon sequestration in tropical grassland ecosystems*. L. 't Mannetje, M.C. Amézquita, P. Buurman y M.A. Ibrahim (eds.). Wageningen Academic Publishers. Netherlands, 49-68 pp.
- ANDRADE, H.J. y M.A. IBRAHIM. 2004. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agroforestería en las Américas* 10 (39-40): 109-116.
- BAUTISTA, F., D. PALMA-LÓPEZ y W. HUCHIN-MALTA. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán. In: *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. F. Bautista y G. Palacio (eds.). Universidad Autónoma de Campeche y Universidad Autónoma de Yucatán. Mexico. 105-122 pp.
- 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.

- CARRANZA, M.A., V.L. SÁNCHEZ, L.M. PINEDA y G.R. CUEVAS. 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de Manantlán, México. *Agrociencia* 37: 203-210.
- CASANOVA, L.F., J.A. CAAMAL, F.J. SOLORIO y J.B. CASTILLO. 2009a. Comportamiento agronómico de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. 1^{er} Congreso Internacional de Agronomía Tropical. 26 al 28 de agosto de 2009. Villahermosa, Tabasco, México.
- CASANOVA, L.F., J.A. ESCAMILLA y L. RAMÍREZ. 2009b. Theoretical model for estimating the density root of two woody species. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 263-271.
- CASANOVA, L.F., L. RAMÍREZ y F.J. SOLORIO. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 11(3): 41-52.
- CLARK, D.A., S. BROWN, D.W. KICKLINGHTER, J.D. CHAMBERS, J.R. THOMLINSON, J. NI y E. HOLLAND. 2001. Net primary production in tropical forest: An evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological applications* 11(2): 371-384.
- COMERFORD, N.B. 2005. Soil factors influencing soil nutrient availability and uptake by plant roots: Soil Nutrient Bioavailability. In: *Ecological Studies; Nutrient Acquisition by Plants: An Ecological Perspective*. H. BassiriRad (ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 1-14 pp.
- DAVIS, M.A., K.J. WRAGE, P.B. REICH, M.G. TJOELKER, T. SCHAEFFER y C. MUERMANN. 1999. Survival, growth and photosynthesis of tree seedlings competing with herbaceous vegetation along a water-light-nitrogen gradient. *Plant Ecology* 145: 341-350.
- GARCÍA, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen*. México, D.F. 219 p.
- IPCC. 2005. *Special report on Carbon Dioxide Capture and Storage* (Prepared by working group III of the Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. USA. 442 p.
- HAMBURG, S.P. 2000. Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5(1): 25-37.
- KU-VERA, J.C., L. RAMÍREZ, F.G. JIMÉNEZ, J.A. ALAYON y C.L. RAMÍREZ. 1999. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico. In: *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. M.D. Sánchez y M.M. Rosales (eds.). Roma Italia. 231-258 pp.
- NAIR, P.K.R. 2004. Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. In: *Encyclopedia of Soils in the Environment*. H. Hillel, C. Rosenzweig, D. Powlson, K. Scow, M. Singer y Sparks, D. (eds.), Elsevier, London, U.K. 35-44 pp.
- PEICHL, M., N.V. THEVATHASAN, A. GORDON, J. HUSS y R.A. ABOHASSAN. 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 66: 243-257.
- PETIT, A.J., F. CASANOVA y F.J. SOLORIO. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrientes. *Agricultura Técnica en México* 35(11): 107-116.
- SÁNCHEZ, C.S., L.G. CRESPO, C.M. HERNÁNDEZ y O.Y. GARCÍA. 2008. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical* 26(3): 269-273.
- VILLA-HERRERA, A., M.E. NAVA-TABLADA, S. LÓPEZ-ORTIZ, S. VARGAS-LÓPEZ, E. ORTEGA-JIMÉNEZ y F. GALLARDO-LÓPEZ. 2009. Use of guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) as a forage source for extensive livestock production in a tropical area of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 253-261.