

Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115

Carbon sequestration in aboveground biomass of an agrosilvopastoral system (*Cocos nucifera*), (*Leucaena leucocephala* Var. Cunningham) and (*Pennisetum purpureum*) Cuba grass CT-115

Anguiano, J. M.;^{1*} Aguirre, J.¹ y Palma, J. M.²

¹ Posgrado en Ciencias Biológicas, Agropecuarias y Pesqueras
Universidad Autónoma de Nayarit
Nayarit, México.

² Centro Universitario de Investigación y Desarrollo Agropecuario
Universidad de Colima
Tecomán, Colima, México.
palma@uacol.mx

*Correspondencia: josemariang@hotmail.com

Resumen

Con el objetivo de estimar el secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril (SASP) compuesto por cocotero (*Cocos nucifera*), *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham sembrada en alta densidad y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115, se llevó a cabo un estudio en un suelo con textura franco arcillo-arenosa. Se utilizó un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro tratamientos 0, 40, 60 y 80 mil árboles de leucaena ha⁻¹ y tres repeticiones; la evaluación duró desde su establecimiento hasta 340 días de edad. Los resultados muestran diferencia estadística ($P \leq 0.001$) en el secuestro de carbono con 101.19d, 109.73c, 122.00b y 128.62a t C⁺ha⁻¹año⁻¹ para los SASP de 0, 40, 60 y 80 mil plantas de leucaena ha⁻¹, respectivamente. El mayor aporte de secuestro de carbono lo rea-

Abstract

With the purpose of estimating carbon sequestration in aboveground biomass of an agroforestry systems consisting of coconut (*Cocos nucifera*), *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham in high density, and Cuba grass CT-115 (*Pennisetum purpureum*), a study was carried out on a sandy a soil loam. A randomized block design with split plot arrangement was used with four treatments 0, 40, 60 and 80 000 trees leucaena ha⁻¹ and three replications, an evaluation from inception to 340 days of age. The results showed statistical difference ($P \leq 0.001$) in carbon sequestration with 128.62a, 122.00b, 109.73c y 101.19d 6b C⁺ha⁻¹ año⁻¹ for SASP with 0, 40, 60 y 80 thousand plants of leucaena ha⁻¹, respectively. The major contribution of carbon sequestration was made by coconut, which contributes to

lizó el cocotero que aportó del 60 al 80% del total del SASP y existió una relación inversa de secuestro de carbono de la gramínea al incrementar la densidad de la leguminosa. El tratamiento que incorpora la siembra en alta densidad de la leguminosa arbórea logró un mayor secuestro de carbono.

Palabras clave

Agroforestería, cambio climático, CO₂, biomasa aérea.

60 to 80% of the SASP. The treatment that incorporated high-density tree legume planting achieved greater carbon sequestration.

Key words

Agroforestry, climate change, CO₂, Biomass.

Introducción

El creciente deterioro de los recursos naturales y del medio ambiente, el calentamiento progresivo del globo terrestre y la pérdida de la capa de ozono son, entre otras, las razones más importantes que en la actualidad están poniendo en peligro la existencia de la especie humana (Soca *et al.*, 2003).

La concentración de gases de efecto invernadero (GEI), como son: dióxido de carbono (CO₂), metano y óxidos nitrosos, en la atmósfera, han aumentado considerablemente, lo cual fortalece el efecto invernadero del planeta. El CO₂, principal gas de efecto invernadero, incrementó su concentración de 280 ppm en el año 1750 a 360 ppm en el año 2000, en donde el uso de combustibles fósiles generó del 80 al 85% del CO₂ emitido (Ortiz *et al.*, 2008); y se estima que esta concentración de dióxido de carbono aumentará de dos a tres ppm por año a nivel mundial.

El CO₂ es incorporado en los sistemas terrestres, principalmente por la fotosíntesis de las plantas. El FONAM (2006) menciona que los bosques, tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen un potencial de secuestro de carbono importante; además, se considera a las actividades forestales como aquellas a tomar en cuenta para el control, la reducción y/o la prevención de emisiones antropogénicas (Salgado, 2004). En este sentido, un aumento en la captura de GEI por las pasturas, pueden tener un gran impacto en la disminución de la concentración de CO₂ en la atmósfera (Fisher *et al.*, 1994).

Los GEI podrían reducirse a través de dos procesos: disminuyendo las emisiones antropogénicas de CO₂ o mediante la creación y/o mejoramiento del secuestro de carbono en la biosfera. En este sentido, los sistemas agroforestales son una importante estrategia para la mitigación del calentamiento global: mediante la conservación, el secuestro, el almacenamiento y la sustitución de carbono (Vine *et al.*, 1999; IPCC, 2000; Ibrahim *et al.*, 2007). Así, la implementación de sistemas agroforestales —utilizando la inserción de árboles en potreros— el establecimiento de cercas vivas y el de pasturas mejoradas, así como incentivar la regeneración natural de la vegetación y la conservación de los bosques, son una posibilidad viable para los productores (Beer *et al.*, 2003).

Ante este escenario, los sistemas agrosilvopastoriles representan una importante alternativa, al obtener alta producción de biomasa y maximizar el fenómeno de la fotosíntesis;

y, por lo tanto, la capacidad de almacenar el carbono del aire en medios estables. Y ello se convierte en una alternativa práctica y real para la regulación ambiental; y es, precisamente en la franja tropical, donde se encuentran las mayores ventajas naturales para desarrollar esta línea de restauración ambiental (Molina y Uribe, 2005; Ruiz *et al.*, 2008).

Los sistemas agrosilvopastoriles son una modalidad de los sistemas agroforestales que pueden permitir a los productores el pago por servicios ambientales, además de múltiples servicios ecológicos y sociales (Sepúlveda e Ibrahim, 2009). El secuestro de carbono, la restauración del suelo y la conservación de la biodiversidad, son algunos importantes servicios ambientales que se han considerado en diversos programas en América Latina (Alonso, 2011).

La cantidad de C⁺ fijado en sistemas agrosilvopastoriles depende de múltiples interacciones entre los componentes árbol, pasto, suelo y animal (Shibu, 2009). Así, el monitoreo del secuestro de carbono es una herramienta fundamental en los proyectos de mitigación, lo cual se logra al realizar el balance de biomasa con los recursos disponibles (MacDiken, 1997).

La incorporación de árboles leguminosos forrajeros en sistemas de plantación, como el de coco, permite aumentar la biodiversidad e implementar sistemas silvopastoriles con efectos benéficos en las zonas costeras. Por ejemplo, el establecimiento de arbóreas de uso múltiple (como el género *Leucaena*), pueden lograr la secuestro de carbono, especialmente si es establecida en altas densidades y con estabilidad en el tiempo (Hernández *et al.*, 2008; Anguiano *et al.*, 2012). Además, las gramíneas tienen un gran potencial para fijar carbono; tal es el caso del pasto Cuba CT-115, ya que al utilizar la ruta fotosintética C4, tiene mayor capacidad de integrar el gas en la materia orgánica de las plantas, lo cual contribuye positivamente a mitigar el calentamiento global (Fisher *et al.*, 1994).

Por lo antes descrito, se planteó el presente trabajo, con el objetivo de estimar el secuestro de carbono en el sistema agrosilvopastoril y en sus componentes, formado por leucaena (*Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit cv Cunningham) sembrada en alta densidad asociada al pasto *Pennisetum purpureum* Schum. cv. Cuba CT-115 y del cocotero (*Cocos nucifera* L. ecotipo Alto Pacífico); y con ello entender el aporte de los sistemas agroforestales al secuestro del CO₂ atmosférico en el trópico seco de Colima, México.

Materiales y métodos

El presente trabajo se estableció en la Unidad de producción bovina doble propósito del Centro de Capacitación Agropecuaria y Forestal (CECAF) en la localidad de Caleras, municipio de Tecmán, Colima, México; ubicado a 18° 57' 43" latitud Norte y 103° 52' 47" longitud Oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 59 metros.

El clima es Aw₀ definido como trópico seco, en el que predominan la estación seca de rango de siete a ocho meses de estiaje y una estación lluviosa de cuatro a cinco meses con una precipitación media anual de 600 mm, además de una temperatura promedio anual de 26°C y humedad relativa de 70% (CNA, 2004).

El tipo de suelo donde se llevó a cabo el experimento es de formación aluvial reciente, con textura franco-arcillo-arenosa (arena 56%, arcilla 23% y limo 21%), el área

cuenta con riego por superficie. En el cuadro 1 se describe la fertilidad del suelo, a través de su análisis químico.

Cuadro 1. Análisis de fertilidad del suelo.

Profundidad cm	pH	M.O. (%)	NO ₃ ppm	PO ₄ ppm	K ppm	CIC Meq	CC (%)	PMP (%)	HA (%)	CE Mmhos cm
0-25	7.50	2.42	16.05	25.87	233.22	21.78	36.83	19.33	17.50	2.05

CIC=Capacidad Intercambio Catiónico

CC= Capacidad de Campo

PMP= Punto de Marchitamiento Permanente

HA= Humedad Aprovechable

CE= Conductividad Eléctrica

(Laboratorio de Análisis de Suelos del INIFAP, Campo Experimental Tecomán, 2009).

El cultivo agrícola fue una huerta senil de *C. nucifera* L. cv. Alto Pacífico, con una edad de 45 años y 25 m de altura, aproximadamente, establecida en un marco de plantación de 8 x 8 m. Para el establecimiento de la leguminosa arbórea, se utilizó semilla certificada con una germinación mínima del 80% proveniente de Brasil, la cual fue escarificada mediante el método de hidrotermia. Los culmos del pasto medían en promedio 60 cm de largo y con mínimo de cuatro yemas germinales, sembrados a una profundidad de 25-30 cm, esparcidos al fondo del surco, con tres a cuatro nudos y las puntas yuxtapuestas, según lo recomendado por Padilla y Curbelo (2005). Se utilizaron cuatro tratamientos, que correspondieron al tratamiento cocotero más pasto (T1), T2 = T1 + 40, T3 = T1 + 60 y T4 = T1 + 80 mil árboles de leucaena ha⁻¹.

La fecha de siembra de la leucaena se realizó en el mes de febrero de 2009. El forraje se estableció cuando la leguminosa alcanzó una altura de 60-70 cm, aproximadamente. El diseño de plantación a una hilera con distancia entre surcos a 1.6 m; 2.40 m y 3.20 m (para las densidades de 80, 60 y 40 mil plantas ha⁻¹, respectivamente) y entre plantas de 15 a 20 semillas m lineal sembradas a chorrillo para asegurar las poblaciones requeridas, con una profundidad de siembra de 2-3 cm.

La evaluación de los ciclos de pastoreo del sistema agrosilvopastoril cocotero-leguminosa-pasto, se llevó a cabo mediante dos etapas. En la primera, se emplearon 12 hembras lactantes del grupo racial cebú-europeo, en similares condiciones de curva de lactancia, número de partos (>2), estado corporal, fisiológicos y con peso vivo promedio de 474 kg, las cuales fueron sorteadas en grupos de tres animales para cada tratamiento y repetición; en esta fase se estudiaron los primeros tres pastoreos, de acuerdo a lo recomendado por Razz *et al.* (2004). En una segunda etapa se emplearon seis vacas lactantes del grupo racial cebú-europeo, con similar perfil productivo-reproductivo al grupo antes descrito, bajo un esquema de pastoreo simulado, con la finalidad de que cosecharan el forraje de cada potrero (tratamiento, repetición), de acuerdo a lo descrito por Medina *et al.* (2005).

Se implementó el método de pastoreo racional Voisin (Senra *et al.*, 2004). Para ello, fueron utilizados 12 potreros con una superficie de 880 m² cada uno, para los cuatro tra-

tamientos y tres réplicas correspondientes a las diferentes densidades de leucaena y pasto bajo sombreado de cocotero. En el manejo del pastoreo, no se utilizó suplementación y se llevó a cabo con apoyo de cerco eléctrico.

Se estudió la dinámica del secuestro de C^+ del sistema agrosilvopastoril cocotero-leguminosa-pasto durante cinco pastoreos basados en la edad de la leguminosa arbórea a los 160, 190, 230, 290 y 340 días, tiempo total del estudio. La estimación de secuestro de carbono se realizó a partir de los inventarios de la biomasa aérea de los componentes del sistema agrosilvopastoril.

En el caso del pasto y la leguminosa arbórea se cosecharon seis muestras de un metro lineal por tratamiento y réplica. El material recolectado se envió al laboratorio para determinar peso seco a 65 °C; luego del secado, el contenido de carbono se asumió como el 50% de la materia seca (IPCC, 2003). Por lo tanto, el secuestro de C^+ ha^{-1} (carbono retenido en la biomasa) y el secuestro de C^+ $ha^{-1} año^{-1}$ (crecimiento de biomasa convertido en carbono) se determinaron con base en la densidad y edad de los componentes de cada tratamiento (Giraldo *et al.*, 2006; Ibrahim *et al.*, 2007).

El muestreo del cocotero se realizó en los individuos localizados en cada tratamiento y repetición; en donde, además, se consideró la producción de coco fruta y la cantidad de peciolo, raquis y folíolos producidas en el tiempo de estudio, mediante la aplicación de fórmulas alométricas para obtener la cantidad de C^+ almacenado de materia orgánica arriba del suelo, de acuerdo a la metodología descrita por Frangi y Lugo (1985), con la siguiente fórmula:

$$B = 4.5 + 7.7 * H$$

Donde: B= Biomasa arriba del suelo (kg individuo)

H= Altura total (m)

La distribución de los tratamientos se realizó bajo un diseño en bloques al azar, con un arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande fue la densidad de siembra de la leucaena y la parcela chica el tiempo de estudio, con tres replicas por tratamiento; asimismo, se empleó diseño en bloques al azar, para conocer el aporte del sistema en forma acumulada. En ambos casos, se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$) para diferencia múltiple de medias (Montgomery, 2004). El análisis se realizó con el paquete estadístico (STATISTIX, 1998).

Resultados

Los valores acumulados de secuestro de C^+ $año^{-1}$ del sistema agrosilvopastoril muestran que el tratamiento que mayor aporte tuvo fue en donde se asoció a la siembra de 80 mil plantas de leucaena. Asimismo, el cocotero fue el componente que mayor secuestro de C^+ $t ha^{-1} año^{-1}$ logró en el sistema, seguido de la leguminosa; y en último término, de la gramínea. A su vez, la alta densidad de siembra de la leucaena, permitió duplicar el secuestro de C^+ comparada con lo obtenido con el máximo valor de la gramínea; esto generó un incremento lineal en el secuestro de carbono al manejar altas densidades de siembra de la leguminosa (cuadro 2).

Cuadro 2
Secuestro de carbono aéreo del sistema agrosilvopastoril
cocotero-leucaena-pasto Cuba CT-115 en pastoreo (t ha⁻¹ año⁻¹).

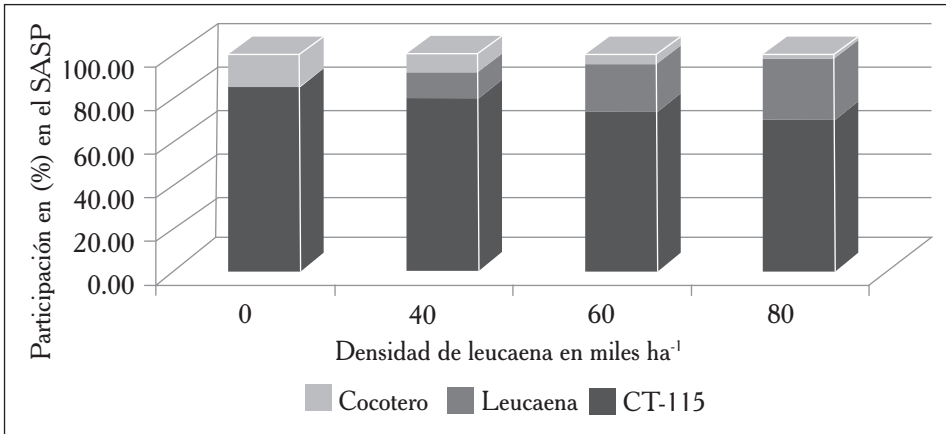
Tratamiento (miles plantas leucaena ha ⁻¹)	Secuestro de C ⁺ (t ha ⁻¹ año ⁻¹)			
	Pasto CT115	<i>Leucaena</i> <i>leucocephala</i>	Cocos <i>nucifera</i>	Total SASP
0	15.46a	0.00d	85.73d	101.19d
40	9.14b	13.42c	87.17c	109.73c
60	5.83c	27.04b	89.13b	122.00b
80	2.63d	35.72a	90.21a	128.62a
EEM	0.006	0.323	0.004	0.324
P	0.001	0.001	0.001	0.001

EEM = Error Estándar de la Media.

Medias con letras minúsculas distintas en la misma columna representan diferencias (Tukey, P≤0.05).

El mayor aporte del secuestro de C⁺ lo realizó el cocotero, el cual se modificó en su participación en dependencia del arreglo espacial desarrollado por la alta densidad de la leucaena. Se observa una relación inversa del aporte de la gramínea en el secuestro de carbono, en la medida que se incrementa la densidad de siembra de la arbórea (figura 1).

Figura 1
Aporte de cada uno de los componentes del sistema agrosilvopastoril en porcentaje sobre secuestro de C⁺.



En el cuadro 3, se muestra el secuestro de C⁺ en los diferentes periodos evaluados de pastoreo para los tratamientos con la gramínea, la leucaena, el cocotero y el sistema agrosilvopastoril completo; en donde se demuestra la interacción entre los tratamientos y la edad del sistema; en todos los casos existió diferencia estadística significativa ($P \leq 0.001$).

El mayor secuestro de C⁺ se obtuvo cuando la gramínea no se asoció a la leguminosa arbórea y el menor aporte fue con la mayor densidad de leucaena empleada en todos los periodos estudiados.

En el caso de la leucaena el secuestro de C⁺ tuvo un incremento lineal al aumentar su densidad de siembra; en este contexto, 60 y 80 mil plantas ha⁻¹ fueron similares en los pastoreos dos, tres y cuatro, con diferencia en secuestro de C⁺ tanto en el primero como en el quinto pastoreo, en los cuales 80 mil plantas ha⁻¹ produjo el mayor secuestro.

En el caso del cocotero, los mejores valores estuvieron asociados a la alta densidad tanto en el primero como el quinto pastoreo, con los menores valores del cocotero en donde se asoció exclusivamente a la gramínea,

A su vez, el sistema agrosilvopastoril mostró los mejores valores para el tratamiento de 80 mil árboles de leucaena ha⁻¹. En general, se mostró una tendencia lineal a incrementar la secuestro de C⁺ en los tratamientos en donde se asoció con la leguminosa arbórea.

Cuadro 3

Secuestro de carbono en la biomasa aérea del sistema agrosilvopastoril cocotero-leucaena-pasto Cuba CT-115 en pastoreo ($t\ C^+ ha^{-1} año^{-1}$).

Pastoreos	Edad (días)	Densidad de siembra de leucaena (miles ha)				EEM	P
		0	40	60	80		
<u><i>Pennisetum purpureum</i> Cuba CT-115</u>							
1	160	3.02b	1.44e	1.08g	0.57h		
2	190	3.06b	2.08c	1.24f	0.60h		
3	230	3.08b	1.99c	1.15fg	0.50h		
4	290	3.10ab	2.01c	1.18fg	0.51h		
5	340	3.20a	1.62d	1.18fg	0.51h		
						0.02	0.001
<u><i>Leucaena leucocephala</i></u>							
1	160	0.00h	2.91g	4.99f	9.39a		
2	190	0.00h	2.67g	5.85cde	6.46c		
3	230	0.00h	2.41g	5.59def	6.36cd		
4	290	0.00h	2.31g	5.25ef	5.82cdef		
5	340	0.00h	3.12g	5.36d	7.69b		
						0.14	0.001
<u><i>Cocos nucifera</i></u>							
1	160	84.81r	86.13o	87.84i	91.75a		
2	190	84.94q	86.53m	88.93g	88.92g		
3	230	85.68p	87.11k	89.45e	89.58d		
4	290	83.21n	87.54j	89.11f	89.53d		
5	340	86.98l	88.52h	90.32c	91.25b		
						0.01	0.001

Continúa en la pág. 157

Viene de la pág. 156

Biomasa aérea secuestro total						
1	160	87.83l	90.48hi	93.91f	101.71a	
2	190	88.00kl	91.28gh	96.02de	95.88de	
3	230	88.76jk	91.51g	96.19cde	96.44cd	
4	290	89.31j	91.86g	95.54e	95.86de	
5	340	90.18i	93.26f	96.86c	99.45b	
					0.15	0.001

Medias con letras mayúsculas distintas en la misma hilera, representan diferencias (Tukey, $P \leq 0.05$).

Discusión

Los resultados encontrados en el presente trabajo sugieren un importante panorama para la investigación y desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles y servicios ambientales en zonas costeras.

Es conocido que el C^+ en los sistemas forestales y agroforestales se acumula en cuatro componentes: biomasa arriba del suelo, hojarasca, sistemas radicales y carbono orgánico del suelo; sin embargo, el almacén de carbono con mayor permanencia se da en la biomasa leñosa (Snowdon *et al.*, 2001). En el presente estudio, el componente arbóreo en los diferentes tratamientos estudiados aportó del 85 hasta el 98% del C^+ fijado.

Con la finalidad de comparar los presentes resultados con los de otros trabajos, se emplearon aquellos valores solamente del componente aéreo, de tal manera que los datos obtenidos en este trabajo de 101.19 a 128.62 t C^+ ha⁻¹ año⁻¹, resultaron menores a lo descrito para el bosque caducifolio en Huatusco, Veracruz, México; en donde se obtuvieron 268.38 t C^+ ha⁻¹. Esta diferencia se puede atribuir a los componentes de cada uno de los sistemas mencionados, aunado a su desarrollo dasométrico (Torres-Rivera *et al.*, 2011). Por otro lado, estos mismos autores indicaron valores para el sistema silvopastoril con baja densidad del componente arbóreo (120 árboles ha⁻¹) valores de 2.86 t C^+ ha⁻¹; ante esta diferencia, la explicación radica que en el presente estudio el diseño espacial y la alta densidad utilizada de la arbórea y del tipo de forraje utilizado para pastoreo, así como la presencia del cocotero, producen este secuestro de C^+ favorable.

La cantidad estimada de carbono fijada en la gramínea anualmente en este estudio, comparada con otros, en donde el pasto se encontraba sin árboles, demostró valores superiores a lo reportado por Ibrahim *et al.* (2007), quienes señalaron resultados de 6.1 t C^+ ha⁻¹ para el *Pennisetum* utilizado como banco forrajero de gramíneas. El resultado del presente estudio indicó que los valores obtenidos no tuvieron un efecto negativo por la presencia del cocotero; y también fueron superiores a lo señalado

por Arias-Giraldo *et al.* (2009), quienes evaluaron diferentes tipos de pasturas sin árboles; entre ellas, estrella (*Cynodon plectostachyus* Vanderyst) y Guinea, Tanzania y Mombasa (*Panicum maximum*), con valores de 3.19 t C⁺ ha⁻¹. Asimismo, Miranda *et al.* (2007), mencionaron para ecosistemas agrosilvopastoriles en Cuba, un valor de 1.63 t C⁺ ha⁻¹ para el componente pasto natural sin árboles, lo que significa que las gramíneas sin árboles son los sistemas que menos carbono secuestran en comparación con los sistemas asociados a los árboles, fenómeno que coincide con nuestro estudio.

Por otra parte, el trabajo realizado por Miranda *et al.* (2008) en un SSP compuesto por *Leucaena* y *Andropogon gayanus*, quienes obtuvieron valores de 64.4 y 38.3 t C⁺ ha, para un total estimado de 102.7 t C⁺ ha⁻¹, resultan similares al sistema propuesto de cocotero más gramínea; sin embargo, en los componentes existen valores diferentes. Cabe señalar que cuando se compara con el sistema que integra la leucaena, los resultados del presente trabajo son superiores, aunque tanto el pasto como la leguminosa resultan menores al sistema de *Leucaena* y *A. gayanus*; esto posiblemente se deba a que el sistema muestra valores de un año de establecido y el secuestro de C⁺, mayoritariamente, provenía del cocotero y la leucaena que se encontraba en su primer año de establecida. A su vez, superan a los datos obtenidos por Ávila *et al.* (2001), quienes encontraron 95,0 t C⁺ ha⁻¹ en sistema agroforestal con café, en Costa Rica.

La importancia de los sistemas agrosilvopastoriles en la producción de alimentos, radica en el secuestro de carbono que se puede lograr con nuevas combinaciones y arreglos espaciales; con lo cual, el papel de la ganadería es relevante en la mitigación de los gases de efecto invernadero, fenómeno que se manifiesta en el presente trabajo, en donde la combinación estudiada con cocotero adicionado de la alta densidad de siembra de la leguminosa arbórea con un forraje de alta producción de biomasa, permitió elevar el secuestro de C⁺.

Conclusiones

El tratamiento que mayor secuestro de C⁺ obtuvo fue aquel que incorpora la siembra de 80,000 plantas de *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham ha⁻¹, pasto Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*) y cocotero (*Cocos nucifera*), dado que secuestró 2.44 veces más C⁺ ha⁻¹ año⁻¹, con respecto a aquella en donde sólo se asoció el cocotero con la gramínea.

Existió una relación inversa entre el secuestro de C⁺ del pasto y la densidad de la leguminosa, disminuyendo su aporte en el SASP, en la medida que la densidad de la leucaena se incrementó hasta 80,000 plantas ha⁻¹.

Literatura citada

- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45 (2):107-115.
- Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2012). Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). *RCCA*. 46(1):103-107.

- Arias-Giraldo, L. M.; Camargo, J. C.; Dossman, M. A.; Echeverry, M. A.; Rodríguez, J. A.; Molina, C. H.; Molina, E. J. y Melo, I. D. (2009). Estimación de biomasa aérea y desarrollo de modelos alométricos para *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el valle del Cauca, Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*. 58(32):39.
- Ávila, G.; Jiménez, F.; Beer, J.; Gómez, M. e Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 8(30):32-41.
- Beer, J.; Harvey, C.; Ibrahim, M.; Harmand, J. M.; Somarraba, E. y Jiménez, F. (2003). Servicios Ambientales de los Sistemas Agroforestales. *Agroforestería en las Américas*. 10(37-38):80-87.
- CNA (2004). *Boletín informativo climatológico*. Colima. México.
- Fisher, M. J.; Rao, I. M.; Ayarza, C. E.; Lascano, C. E.; Sanz, J. I.; Thomas, R. J. y Vera, R. R. (1994). Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*. 31:236-238.
- Fondo Nacional del Ambiente (FONAM). (2006). *El cambio climático*. (En línea): FONAM, (<http://www.fonamperu.org/general/cambio.asp> (Consultado el 29 de agosto de 2010)).
- Frangi, J. L. y Lugo, A. E. (1985). Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs*. 55:351-369.
- Giraldo, A.; Zapata, M. y Montoya, E. (2006). Estimación de la captura de carbono en silvopastoreo de *Acacia mangium* asociada con *Brachiaria dyctioneura* en Colombia. *Pastos y Forrajes*. 29:421.
- Giraldo, A.; Zapata, M. y Montoya, E. (2008). Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 16(4):241-245.
- Hernández, A.; Marentes, F. L.; Vargas, D.; Ríos H. y Padrón, F. (2008). Características de los suelos y sus reservas de carbono en la finca la colmena de la Universidad de Cienfuegos, Cuba. *Cultivos Tropicales*. 29 (2): 27-34.
- Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Ponce, G.; Vega, P.; Casasola, F. y Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. 45:27-36.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000). IPCC Special Report: Land use, land use change and forestry. *S. N. T.*
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Special Report: Land-Use Change and Forestry. *S. N. T.*
- MacDiken, K. (1997). *A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 pp.
- Medina, M. G.; Lamela, L. y García, D. E. (2005). Comportamiento del estrato herbáceo de una asociación de *Morus alba* con *Panicum máximum*. *Pastos y Forrajes*. 28(4):291-297.
- Miranda, T.; Machado, R.; Machado, H. y Duquesne, P. (2007). Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso. *Pastos y Forrajes*. 30(4):483-491.
- Miranda, T.; Machado, R.; Machado, H.; Brunet, J. y Duquesne, P. (2008). Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero. *Zootecnia Tropical*. 26(3):187-189.
- Molina, C. H. y Uribe, F. (2005). *Experiencia de producción limpia de ganaderías en pastoreo*. III Seminario Internacional sobre competitividad en carne y leche. Cali, Colombia. 157 pp.
- Montgomery, D. C. (2004). *Control estadístico de la calidad*. Editorial Limusa Wiley. Tercera edición. México. 797 pp.
- Ortiz, A.; Riascos, L. y Somarriba, E. (2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas*. 46:26-29.
- Padilla, C. y Curbelo, F. (2005). Dos métodos de plantación en el establecimiento de yerba elefante CT-115 (*Pennisetum purpureum*). *Revista Cubana Ciencias Agrícolas*. 39(2):219-227.
- Razz, R.; Clavero, T.; Combellas, J. y Ruiz, T. (2004). Respuesta productiva y reproductiva de vacas doble propósito suplementadas con concentrado pastoreando *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. *Revista Científica FCV-LUZ*. 14(6):526-529.

- Roncal-García, S.; Soto-Pinto, L.; Castellanos-Albores, J.; Ramírez-Marcial, N. y Jong de, B. (2008). Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas México. *Interciencia*. 33(3):200-206.
- Ruiz, T. E.; Castillo, E.; Alonso, J. y Febles, G. (2008). Algunos factores que influyen en la producción de biomasa en sistemas silvopastoriles en el trópico. *IV Reunión Nacional Sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles*. Colima, México. p. 347-361.
- Salgado, L. (2004). *El mecanismo de desarrollo limpio en actividades de uso de la tierra, cambio de uso y forestería (LULUCF) y su potencial en la región latinoamericana*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. CEPAL-Serie Medio ambiente y desarrollo. Santiago de Chile. 84 pp.
- Sepúlveda, L.C. e Ibrahim, M. (2009). *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central*. Serie técnica. Informe técnico No. 377. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 270 pp.
- Senra, A.; Valdés, G.; Pozo del, P. y Rodríguez, I. (2004). El pastoreo Voisin: Reflexiones acerca de su aplicación. *Revista Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA)*. 2:41.
- Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforest Systems*. 76:10.
- Snowdon, P.; Raison, J.; Keith, H.; Montagu, K.; Bi, K.; Ritson, P.; Grierson, P.; Adams, M.; Burrows, W. y Eamus, D. (2001). *Protocol for sampling tree and stand biomass*. National Carbon Accounting System, Technical Report No. 31. 114 pp.
- Soca, M.; Francisco, A. G.; Simón, L. y Roche, R. (2003). Producción animal y biodiversidad en un sistema silvopastoril de formación natural. *Pastos y Forrajes*. 26(4):321-327.
- Statistix. (1998). *Statistix analytical software*. Barland. Internacional Inc. Tallase, Florida USA.
- Torres-Rivera, J. A.; Espinoza, W.; Krishnamurty, L. y Vázquez-Alarcón, A. (2011). Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13(3):543-549.
- Vine, E.; Sathaye, J. y Makundi, W. (1999). *Guidelines for the monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification of forestry projects for climate change mitigation*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 125 pp.
- Zizumbo, B. D.; Cárdenas-López, R. y Piñero, D. (2002). Diversity and phylogenetic analysis in *Cocos nucifera* L. In México. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 49: 237-245.

Recibido: Enero 13, 2012

Aceptado: Noviembre 20, 2012