

Evaluación de la retención de carbono y la fauna edáfica en asocio con *Moringa oleifera* Lam. en cercas vivas

Calculation of carbon sequestration and soil fauna associated with *Moringa oleifera* Lam. in living fences

Oscar Loyola Hernández¹, Arelys Valido Tomes¹, Delmy Triana González¹, Isael Pérez Cabrera², Idania Yero Pino¹, Dania de la Caridad Gonzáles Gort¹.

¹Departamento de Agronomía, Universidad de Camagüey, Carretera de Circunvación km 5½, Camagüey, Cuba, C.P. 74650.

²UCTB Estación Experimental Agroforestal Camagüey, Avenida Ignacio Agramonte No. 178, Camagüey, Cuba.

E-mail: oscar.loyola@reduc.edu.cu

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar la retención de carbono y la fauna edáfica en cercas vivas asociadas con *M. oleifera* en las condiciones edafoclimáticas del municipio Santa Cruz del Sur, provincia de Camagüey, se desarrolló un estudio durante doce meses donde se evaluó una cerca viva ya establecida, sobre un suelo Pardo sin carbonato. Los resultados obtenidos indican lo provechoso que es utilizar *M. oleifera* como cerca viva al tener en cuenta su efecto ambiental positivo. Esta planta retiene altos niveles de dióxido de carbono (la retención de Carbono calculado para la especie es 68 kg/a anual que equivale a 45,35 t de C/km de cerca) y crea un ambiente propicio para el desarrollo de la fauna edáfica. En el período evaluado los principales grupos hallados fueron las lombrices y los coleópteros, lo que es favorable para el bienestar del ecosistema.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, cercas vivas, retención de carbono, fauna edáfica.

ABSTRACT. This study was completed under edaphoclimatic conditions in Camagüey during one year. The objective was to determine the carbon retention and the soil fauna associated with *Moringa oleifera* Lam, used for living fences, specifically a one-year-old fence, built on a typical brown soil without carbonate. The approximate carbon sequestration and the soil fauna associated with the species were calculated. The results indicated the advantages of using *M. oleifera* L. for living fences, due to their positive environmental effect when sequestering high levels of carbon dioxide (the carbon stored by this species is of 68 kg/a, which is closely equal to 45,35 t of C/km), and they also create a favorable environment for soil fauna. In the assessed period, the worms and the coleopterons were the main groups found, which are also important for maintaining a healthy ecosystem.

Key words: *Moringa oleifera*, living fences, sequestration of carbon, soil fauna.

INTRODUCCIÓN

El aumento creciente de la población, y con ello, la necesidad de incrementar las producciones agrícolas, ha propiciado que los suelos de mejores características físicas y productivas se dediquen a la producción de granos y viandas, quedando para la ganadería los de menor calidad. Dentro de ellos, las sabanas o tierras bajas del trópico americano se consideran como los ecosistemas de mayores posibilidades para el desarrollo ganadero (Ibrahim y Mora, 2006).

Particular importancia se le concede actualmente a las cercas vivas pues proporcionan una gran variedad de productos como la producción de postes para

nuevos cercados, forraje para los animales, leña, frutas y mieles para la apicultura, que las convierte en un indicador de sostenibilidad en los sistemas (Hernández *et al.*, 2001; Monzote y Funes-Monzote, 2003; Villanueva *et al.*, 2005; Sánchez, 2007; Iglesias, 2009). El empleo de *Moringa oleifera* Lam. como cerca implica bajos costos de establecimiento y altos ingresos en relación con otros tipos de cerca, además de posibilitar la adquisición de leña, postes vivos y forraje (Pérez, 1995; Price, 2000).

En Cuba el uso de cercas vivas es una práctica común ya establecida que predomina en el sector

campesino debido al abaratamiento de los costos de ejecución y durabilidad, no así por su uso potencial (Pedraza, 2000). En términos ecológicos, la siembra de cercas vivas es una manera de obtener madera, sin talar más los bosques que nos quedan. Igualmente, están asociadas con la protección y mejoramiento del suelo a través de la fijación de nitrógeno (lo que mejora el pasto cercano), la calidad del aire (retención de carbono), y simultáneamente al aumento de animales silvestres (aves, anfibios, reptiles, murciélagos, e insectos) en las fincas (Villanueva *et al.*, 2005).

Fernández (2006) aseguró que la inclusión de estas cercas es de gran importancia pues posibilitan el desarrollo de una amplia fauna edáfica que, mediante su nutrición, favorecen la estructura del suelo al realizar galerías en el mismo, lo que mejora la circulación del aire, el agua y ayuda a que se establezcan otros grupos taxonómicos en él.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la retención de carbono y la fauna edáfica en cercas vivas asociadas con *M. oleifera* en las condiciones edafoclimáticas del municipio Santa Cruz del Sur, provincia Camagüey, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante el periodo comprendido desde enero de 2012 al 2013, en cercas vivas de *M. oleifera* pertenecientes a la Cooperativa de Créditos y Servicios "Sabino Pupo Milián", del municipio Santa Cruz, provincia de

Camagüey, Cuba, situada entre los 20° 50' 50" de latitud norte y los 77° 58' 40" de longitud oeste, a una altura de 42 m.s.n.m.

El trabajo experimental se llevó a cabo en un suelo Pardo sin carbonato, plastogénico, sobre roca ígnea intermedia, saturado, profundo, humificado y poco erosionado (Hernández *et al.*, 1999). Se realizó un muestreo al inicio del experimento, para caracterizar la composición química del mismo (Tabla 1).

El clima de la zona es tropical húmedo de llanura interior con humedecimiento estacional y alta evaporación (Díaz, 1989), la temperatura del aire es elevada, con valores medios entre 20,7 y 24,8 °C; las precipitaciones medias históricas alcanzan los 1 306,5 mm variando en este periodo (2011) entre 154,4 y 1 196 mm (Tabla 2).

Retención de Carbono

Para la determinación de este parámetro fue necesario evaluar el volumen de madera, leña, raíz, follaje y hojarasca; posteriormente, el carbono retenido individualmente por las partes. La densidad aparente de la madera es de 600 kg/m³ de acuerdo con Foidl *et al.* (1999) y Garavito (2008), por lo que se tomaron 50 muestras de ramas (0,20 m de longitud con diámetros entre 0,038 a 0,044 m y 0,25 kg de peso) a las que se les determinó el volumen a través de la fórmula de Smalian:

$$V = \pi/4 \times \frac{d_1^2 + d_2^2}{2} \times L$$

Tabla 1. Características químicas del suelo a una profundidad de 0-15 cm

Indicadores	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
pH (KCl)	5,2	6,3	5,78	0,0031
P ₂ O ₅ (mg / 100g)	4,2	28,43	16,3	0,0052
K ₂ O (mg / 100g)	49,48	95,0	72,2	0,0029
MO %	5,8	8,48	7,1	0,0018

Fuente. Laboratorio Territorial de Suelos Camagüey, 2012

Tabla 2. Características climáticas por periodos en el área de estudio

Año	Precipitaciones (mm)			Temperaturas (°C)		
	PPLL	PLL	Año	PPLL	PLL	Año
2012-2013	154,4	1196	1350,4	20,7	24,8	22,78

Fuente: Instituto de Meteorología, Santa Cruz del Sur, 2012

PPLL: Período poco lluvioso; PLL: Período lluvioso

Donde:

V: volumen del tronco de sólido

d_1 : diámetro de la sección basal (mayor) de la rama

d_2 : diámetro de la sección superior (menor) de la rama

L: longitud de la rama

Estos resultados fueron extrapolados entonces al peso total de las ramas sin hojas de 80 árboles evaluados (Cubicación por pesado o método ponderal) y de esta forma se determinó el volumen de leña.

La retención de carbono en la parte leñosa se estipuló a partir de la fórmula utilizada por Fernández (2006) que plantea lo siguiente:

$$CM = VM \times DAM \times \%CM$$

Donde,

CM: Carbono en la madera (t/ha)

VM: volumen de madera calculado a partir de la fórmula de Smalian

DAM: densidad aparente de la madera (kg/m^3)

CM (%): porcentaje de carbono de la madera según las normas y métodos de PNO (2/98) citados por Fernández (2006)

En las evaluaciones se consideró que el volumen de la raíz constituye el 30% de la parte aérea de la planta y que el Carbono retenido en el follaje y hojarasca es de 0,48%, de acuerdo con lo referido por Soto (2004).

Para los cálculos del contenido en la deposición de hojarasca se limpiaron de malezas y todo tipo de material orgánico pequeñas parcelas de 1,0 m^2 debajo de los árboles a las cuales, cada 30 días, durante cuatro meses consecutivos (enero-abril), recolectó y pesó todo el material depositado, posteriormente se extrapoló el resultado al área total (Crespo y Rodríguez, 2000).

En el Rendimiento del follaje, a través de un muestreo aleatorio simple fueron evaluados 80 árboles distribuidos en una cerca ya establecida por más de 15 años. La distancia entre árboles era de 1,5 m y la altura de 2 m. Las muestras del follaje fueron tomadas a los 90 días de rebrote, después de un corte de establecimiento que comprendió la eliminación de todo el follaje del árbol. Se

recolectaron tres muestras compuestas de follaje integral para el análisis de la materia seca, las muestras se secaron a 70°C hasta peso constante. Consecutivamente se separaron las hojas-peciolos del tallo para pesarlas independientemente, calculándose el peso fresco en porciento de la fracción hojas-peciolos. Los rendimientos se calcularon utilizando los datos de materia seca.

Finalmente, el carbono retenido en este sistema se determinó mediante la fórmula:

$$\%C = \%C_{\text{madera}} + \%C_{\text{follaje}} + \%C_{\text{hojarasca}}$$

Fauna edáfica

En las áreas aledañas a los árboles y las áreas de pastos se realizaron 60 parcelas de muestreo de 0,5 x 0,5 m para cada variante respectivamente. A cada parcela se le limpió la vegetación y después de excavar hasta 10 cm de profundidad, contaron y clasificaron todos los individuos de la fauna edáfica presentes.

Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados y procesados con el paquete estadístico SPSS versión 15.0.1. Se determinaron los estadísticos descriptivos (Media y Error Estándar) para el rendimiento del follaje, volumen de leña, madera y raíz. La presencia de fauna edáfica en áreas con Moringa fue comparada a través del ANOVA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Retención de Carbono

El incremento del número de árboles a través de las cercas vivas puede contribuir a la desaparición de las áreas despobladas, incrementar la retención de C por las plantas y simultáneamente elevar la calidad de la dieta de los animales, con lo que disminuiría el aporte de gas metano al ambiente y CO_2 atmosférico (Fernández, 2006). El rendimiento del follaje de la especie puede alcanzar 3,8 kg/año de carbono retenido y 2,52 t de carbono retenido por km de cerca, en cortes realizados cada 90 días en estas condiciones, a ese marco de plantación (Tabla 3).

Al evaluar los volúmenes de madera, leña y raíz, los resultados obtenidos alcanzaron valores de 0,105 m³/año y en correspondencia, se encontró 26,46 kg/año de carbono retenido en la parte leñosa de la planta, lo que equivale a 17,6 t de C/km de cerca (tabla 4). A este valor de carbono acumulado hay que añadirle de forma individual tres veces más su valor porque las ramas se renueva cada 90 días; debido a esto, los valores reales son 11,59 kg de C/año/corte, lo que constituye 34,77 kg/año de carbono. Una planta de *M. oleifera* con cuatro cortes en el año puede acumular 61,23 kg de carbono que es el equivalente a 40,78 t de este elemento retenido en la madera.

La cantidad de deposición de hojarasca varió en cada uno de los meses, esta fue en aumento de forma gradual desde 2,76 hasta 4,02 t/ha y desde 276,00 hasta 402,00 kg/km cerca, para un aporte medio en el periodo de 3,57 t/ha y 357,25 kg/km cerca (tabla 5). El incremento paulatino de la hojarasca depositada se debe, en lo fundamental, al estado fenológico de las plantas en esta etapa, ya que *M. oleifera* en el mes de diciembre se encuentra en estado de floración y cuaje de frutos por lo que, además de la caída de los folíolos, también se está produciendo la caída de los órganos florales. Aparejado a esto, coincidentemente en los meses de febrero-marzo la velocidad de los vientos es superior al resto del periodo analizado.

Tabla 3. Rendimiento del follaje y Carbono retenido por *M. oleifera* en cortes realizados cada 90 días (Media±ES)

Especie	MV/árbol (kg/año/corte)	MS/árbol (kg MS/año/corte)	t MS/km/corte	Carbono retenido (kg/año)	Carbono retenido (t/km/corte)
<i>M. oleifera</i>	4,88±0,002	1,97±0,0034	1,31±0,0019	0,95	0,63

Tabla 4. Retención de carbono por *Moringa oleifera* L. en la estructura leñosa

Especie	Volumen leña (m ³ /año)	Volumen madera (m ³ / año)	Volumen raíz (m ³ / año)	% C madera	Densidad madera (kg/m ³)	C retenido (kg/ año)
<i>M. oleifera</i>	0,046±0,003	0,035±0,0028	0,024±0,0034	0,42	600	26,46

Tabla 5. Deposición de hojarasca

Especie	enero	febrero	marzo	abril
g/m ²	276,00	340,00	411,00	402,00
t/ha	2,76	3,40	4,11	4,02
kg/km de cerca	276,00	340,00	411,00	402,00

Al tener en cuenta los resultados obtenidos se puede plantear que la especie botánica aporta al suelo en forma de hojarasca aproximadamente 357,25 g/m² mensualmente, valor que en el año equivale a 4,28 kg/m² (4,28 t de hojarasca anual por cada kilómetro de cerca), que representa 2,05 t de carbono retenido en la hojarasca si es considerado el 0,48% de carbono.

Teóricamente 1 t métrica de C es el equivalente a 3,67 t de CO₂ por lo que en este caso particular, al asumir los resultados individuales del elemento retenido en la hojarasca, parte leñosa y follaje, se puede inferir que para la especie, la retención es de 68 kg/a anual y 45,35 t de C/km de cerca anual,

lo que equivale a 166,43 t de CO₂ que no están en la atmósfera y por consiguiente no están incidiendo negativamente en el proceso de calentamiento global.

Autores como Brown *et al.* (1986) y Fernández (2006) consideran que las toneladas de carbono retenidas por un árbol están determinadas por la especie, la producción de biomasa, la densidad de la madera y el porcentaje de carbono que presenta está en su composición química, lo que a su vez depende en buena medida de las condiciones edáficas y climáticas de la región donde se desarrolló la especie, resultados con los que concuerdan los obtenidos en esta investigación.

Estos resultados también influyen positivamente en las características de los suelos. Botero (2007) asegura que en los sistemas silvopastoriles, además de la acumulación de carbono en gramíneas y leguminosas rastreras, también se acumula este elemento en la madera y raíces de los árboles. En general, estos sistemas tienen mayor productividad primaria neta y, por tanto, mayor acumulación de carbono. Criterios similares son los expuestos por Foidl *et al.* (1999), Fisher y Trujillo (2000) y Foidl *et al.* (2001).

Fauna edáfica

En el periodo analizado los Anélidos (lombrices) y coleópteros fueron los principales grupos hallados en el ecosistema estudiado (tabla 6), similar a lo observado por Rodríguez *et al.* (2003) en diferentes sistemas de pastizales (monocultivos y asociaciones). El promedio de individuos por metro cuadrado observados fue de 344 en el sistema que incluye a *M. oleifera* y de 148 individuos/m² en las áreas alejadas de esta especie. Este resultado evidencia

lo beneficioso de la inclusión de esta especie botánica como cerca viva, pues aporta importantes volúmenes de hojarasca, es un regulador de la temperatura del suelo debido al sombreado que provoca y simultáneamente, favorece el buen desarrollo de la fauna edáfica, organismos que ayudan a la descomposición de la Materia Orgánica, de la propia hojarasca y que aportan materia de estiércol y coprolitos.

El incremento de la fauna edáfica y del número de coprolitos en el suelo mejora con el incremento de la vegetación y el aporte de hojarasca, aspecto muy favorable para el bienestar del ecosistema, lo que coincide con los resultados de Crespo y Rodríguez (2000) y Rodríguez *et al.* (2003) quienes refieren que existen aumentos apreciables en los componentes bióticos del suelo cuando se incrementa el arbolado en las áreas de pastoreo, debido a los efectos beneficiosos de los árboles en el microclima del suelo y a la deposición de hojarasca.

Tabla 6. Comportamiento de la fauna edáfica en el sistema en estudio (individuos/m²)

Especie fauna	Con Moringa	Sin Moringa	Error Estándar
Milpiés	22	5	± 0,11
Anélidos	199	87	± 0,39
Coleópteros (larvas)	98	46	± 0,27
Arañas	3	1	± 0,17
Ciempíes	22	9	± 0,27
Total (individuos /m ²)	344 ^a	148 ^b	

a, b Valores con superíndices diferentes difieren a (P<0,05)

Según Soca *et al.* (2000), algunos de estos organismos, en especial los coprófagos como los coleópteros, pueden incorporar las heces fecales de vacunos y otros animales del sistema al suelo en un lapso de 24 h. Esta acción enterradora que ejercen disminuye sustancialmente la contaminación que provoca la acumulación del excremento, favorece la retención de agua y la remoción de los horizontes del suelo.

En sentido general se puede asegurar que dentro de las técnicas agroforestales, el empleo de *M. oleifera* como cerca viva ocupa un lugar destacado, ya que implica bajos costos de establecimiento y altos ingresos en relación con otros tipos de cerca, además de posibilitar la adquisición de leña, postes vivos y forraje (Pérez, 1995).

CONCLUSIONES

1. La especie botánica *M. oleifera* retiene importantes volúmenes de carbono.
2. Esta especie beneficia el buen desarrollo de la fauna edáfica, lo que se demuestra en los altos niveles de presencia y diversidad de organismos en la misma.

BIBLIOGRAFÍA

1. Botero, J.: *Contribución de los sistemas ganaderos tropicales la retención de Carbono*. 2007, En sitio web <http://www.fao.org> Consultado el 10 marzo de 2013.

2. Brown, S.; A. Lugo; J. Chapman: Biomass of Tropical Tree plantation and its implications for the global carbon budget. *Canadian Journal and Toresty research*, 16: 390-394, 1986.
3. Crespo, G.; I. Rodríguez; V. Torres; J. Ortíz y G. Cabrera: Contribución al conocimiento del reciclaje de los nutrientes en el sistema suelo-planta-animal en Cuba. Ed. Instituto de Ciencia Animal (EDICA). La Habana, Cuba, 2000, 72 p.
4. Díaz, R.: Regionalización climática general. En: Atlas de Camagüey. Ed. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba y el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía., La Habana, Cuba, 1989.
5. Fernández, L.A.: Efecto del grado y tipo de arborización en la producción de leche en Camagüey. Tesis presentada al título de Master en Pastos y Forrajes, Universidad de Matanzas, Cuba, 2006, 44p.
6. Fisher, M.; W. Trujillo: Fijación de carbono por pastos tropicales en las sabanas de los suelos ácidos neotropicales. En: C. Pomareda y H. Steinfeld (eds.). Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales. CATIE/FAO/SIDA. San José. Costa Rica. p. 115-135, 2000.
7. Foidl, N.; L. Mayorga; W. Vásquez: The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. Proc. 1st what development potential for *Moringa* products? Dar Es Salaam, Tanzania, 2001, 45 p.
8. Foidl, N.; L. Mayorga; W. Vásquez: Utilización del Marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para el ganado. Conf. Electrónica de la FAO sobre Agrofor. para la Prod. Anim. en América Latina. 1999. En sitio web: <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/agrofor1/foidl16.htm> Consultado el 20 de junio de 2013.
9. Garavito, U.: *Moringa oleifera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. 2008. En sitio web: http://enormix.com/moringa_oleifera_alimento_ecologico_articulos_1891_AGR.htm Consultado el 19 de febrero de 2010.
10. Hernández, A.; J.M. Pérez; D. Bosch; L. Rivero; E. Camacho; J. Ruiz; E. Jaime; R. Marzon; A. Obregón; J.M. Torres; J.E. González; R. Orellana; J. Paneque; A. Mesa; Enma Fuentes; J.E. Durán; J. Pena; G. Cid; D. Ponce; Mayda Hernández; E. Frometa; Libia Fernández; N. Garcés; Marisol Morales; Alvia Suárez; E. Martínez; J.M. Ruiz: Clasificación genética de los suelos de Cuba. AGRINFOR, Instituto de Suelos. Ministerio de Agricultura. Ciudad de la Habana, Cuba, 1999. 64 pp.
11. Hernández, I.; E. Pérez; Tania Sánchez: Las cercas y los setos vivos como una alternativa agroforestal en los sistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*. 24 (2):93, 2001.
12. Ibrahim, M.; J. Mora: Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios. En: M. Ibrahim; J. Mora; M. Rosales (Eds.). Memorias de una conferencia electrónica «Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales». CATIE. Turrialba, Costa Rica, 2006, 10 p.
13. Iglesias, J.M.; J.M. Giraldo: Los Sistemas Silvopastoriles en Cuba. *Rev. Sist. Prod. Agroecol*, 2(1): 81-102, 2011.
14. Monzote, Martha; F. Funes-Monzote: Metodología y experiencias metodológicas para evaluar la conversión de la producción bovina hacia una ganadería integrada agroecológica. En: Curso Internacional IIPF, Ciudad de La Habana, Cuba. 2003. 40 p.
15. Pedraza, R.: Valoración nutritiva del follaje de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. y su efecto en el ambiente ruminal. Tesis de doctorado en Ciencias Veterinarias, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba. 2000, 100 p.
16. Pérez, R.: *Gliricidia sepium*: Piñón cubano o florido, bienvestido o matarratón. En: Carta Agropecuaria Azucarera. Departamento de Producción Agropecuaria, La Habana, Cuba, 1995.
17. Price, M.L.: The *Moringa* tree. Educational Concerns for Hunger Organization (ECHO). 2000, En sitio web <http://www.echotech.org/technical/technotes/moringabiomasa.pdf> Consultado el 25 de mayo de 2013.
18. Rodríguez, Idalmis; G. Crespo; S. Fraga; C. Rodríguez; D. Prieto: Actividad de la mesofauna y la macrofauna en las bostas durante el proceso de descomposición, *Rev. Cubana Ciencia Agrícola*, 37 (3): 319-326, 2003.
19. Sánchez, Tania: Evaluación productiva de una asociación de gramíneas mejoradas y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham con vacas Mambí de Cuba en condiciones comerciales. Tesis presentada

en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad de Camagüey. Camagüey, Cuba. 2007, 73 p.

20. Soca, M.; L. Simón; A. Aguilar; Geraldine Francisco: Comportamiento de una plantación de *Gliricidia sepium* después de haber sido afectado por un incendio. En Memorias del IV Taller Internacional Silvopastoril. EEPF. Indio "Hatuey", Matanzas. Cuba, 2000.

21. Soto, S.: Evaluación de la integración de cultivos de ciclo corto durante el establecimiento de áreas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú para contribuir a la sostenibilidad en fincas ganaderas. Artículo en

revisión, Camaguey, Cuba. 2004. En sitio web: <http://www.reduc.edu.cu/147/04/1/14704104.pdf> Consultado el 25 de mayo de 2013.

22. Villanueva, C.; I. Muhammad; F. Casasola; R. Arguedas: Las cercas vivas en las fincas ganaderas. Serie cuaderno de campo. Proyecto enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. Costa Rica: INPASA. Oxford Forestry Institute, 2005, 19p.

Recibido:26/03/2014

Aceptado:12/12/2014