

# Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica<sup>1</sup>

Alejandro Lopez<sup>2</sup>, Andrea Schlönvoigt<sup>3</sup>, Muhammad Ibrahim<sup>3</sup>,  
 Christoph Kleinn<sup>3</sup>, Markku Kanninen<sup>3</sup>

**Palabras claves:** *Cordia alliodora*, *Panicum maximum*,  
 regeneración natural

## RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles son potenciales sumideros de carbono (C) que pueden contribuir a mitigar el efecto de las emisiones globales de C. En un estudio de caso en la Zona Atlántica de Costa Rica, un suelo Typic Tropofluvent de fertilidad media almacenó 233 Mg C ha<sup>-1</sup> en los primeros 50 cm de suelo cuando el uso de la tierra era un pastizal puro de pasto guinea (*Panicum maximum*). En sistemas silvopastoriles de laurel (*Cordia alliodora*) de regeneración natural (<3, 3-7 y >7 años) en pastizales de *P. maximum*, el C acumulado varió entre 180-200 Mg ha<sup>-1</sup> dependiendo de la edad de los árboles. Las concentraciones de C en el suelo disminuyeron con la profundidad del suelo y con la distancia a los árboles. La variabilidad de la distribución del C aumentó con la profundidad del suelo y con la edad de los árboles.

## QUANTIFICATION OF CARBON STORAGE IN THE SOIL OF A SILVOPASTORAL SYSTEM IN THE ATLANTIC ZONE OF COSTA RICA

### SUMMARY

Silvopastoral systems are considered potential carbon (C) sinks which might help to mitigate the effects of increasing global C emissions. In a case study in the Atlantic Zone of Costa Rica, a medium-low fertile Typic Tropofluvent soil stored 233 Mg C ha<sup>-1</sup> in the upper 50 cm under a Green Panic (*Panicum maximum*) pasture monoculture. In association with three different growth stages of natural regeneration of salmwood (*Cordia alliodora*; <3, 3-7, >7 years) the soil stored 180-200 Mg C ha<sup>-1</sup>. Soil C concentrations decreased with soil depth and distance from the tree. Variability of C distribution increased with soil depth and age of the stand.

## INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono es el gas de invernadero que más contribuye al cambio climático. En el suelo, el carbono (C) está almacenado como parte de la materia orgánica y representa más de 1400 Gt (1Gt = 10<sup>15</sup> g), casi el doble del que hay en la atmósfera (Post *et al.*, 1982). En la zona Atlántica de Costa Rica, en los últimos 25 años, la conversión del bosque a pasturas poco productivas ha resultado en una pérdida neta de 150-2180 g C m<sup>-2</sup>, dependiendo del tipo de suelo (Veldkamp, 1994). Sin embargo, aumentos en la reserva de C del suelo fueron reportados especialmente para pasturas mejoradas y bien manejadas (Lugo y Brown,

1993; Fisher *et al.*, 1994). Este estudio de caso presenta resultados sobre el C almacenado en el suelo bajo pastizales puros de pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y en un sistema silvopastoril de pasto guinea y rodales de laurel (*Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken) de diferentes edades, en San Carlos, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Descripción del sitio y manejo de las pasturas.** La investigación se realizó en la finca La Guaria, La Fortuna, San Carlos, Costa Rica (10°28'N, 84°35'O; altitud 250 m; 3609 mm año<sup>-1</sup>; 26,1°C). Los suelos se clasifican como Typic Tropofluvent (USDA) de textura gruesa,

<sup>1</sup> Basado en López A (1998) Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica Tesis Mag Sc, CATIE, Turrialba, Costa Rica 50 p. <sup>2</sup> MSc Agroforestería Tropical; <sup>3</sup> CATIE, Turrialba, Costa Rica, aschlönv@catie.ac.cr; mibrahim@catie.ac.cr; ckleinn@catie.ac.cr; kanninen@catie.ac.cr

pH ligeramente ácido y fertilidad media a baja. Las pasturas fueron establecidas hace 50 años y desde hace 15 años se comenzó a permitir la regeneración natural de *C. alliodora*.



Durante los primeros siete a diez años de crecimiento, el sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Cordia alliodora* tiene el potencial de acumular C en la biomasa sin disminuir el C en el suelo (Foto: A. López)

**Muestreo y mediciones.** Se identificaron cuatro sistemas para estudio: 1) pasto solo; 2) pasto con árboles pequeños (<3 años); 3) pasto con árboles medianos (3-7 años) y 4) pasto bajo árboles grandes (>7 años). No se utilizaron repeticiones. Se tomaron muestras de suelo a cuatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 y 30-50 cm) y se determinó el C orgánico por el método de Walkley-Black. Para la conversión de materia orgánica a C, se usó el factor 1.72 (Díaz-Romeu y Hunter, 1982).

**Análisis de datos.** Se probó un modelo de regresión lineal multivariado y varios modelos univariados ( $p < 0.05$ ) entre el C del suelo almacenado hasta una profundidad de 50 cm y las distancias a los tres árboles más cercanos y sus dimensiones en dap y altura total. El volumen de madera del tallo de *C. alliodora* se calculó según Somarriva y Beer (1987). La cantidad de C alma-

cenado en la madera se calculó para cada árbol multiplicando el volumen por el factor de 0.25, el cual toma en cuenta la densidad de la madera ( $\text{g cm}^{-3}$ ) y el porcentaje de C en la biomasa, ambos reportados como 0.5. La acumulación de C en la madera por hectarea se calculó con base en la densidad de los árboles en las parcelas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

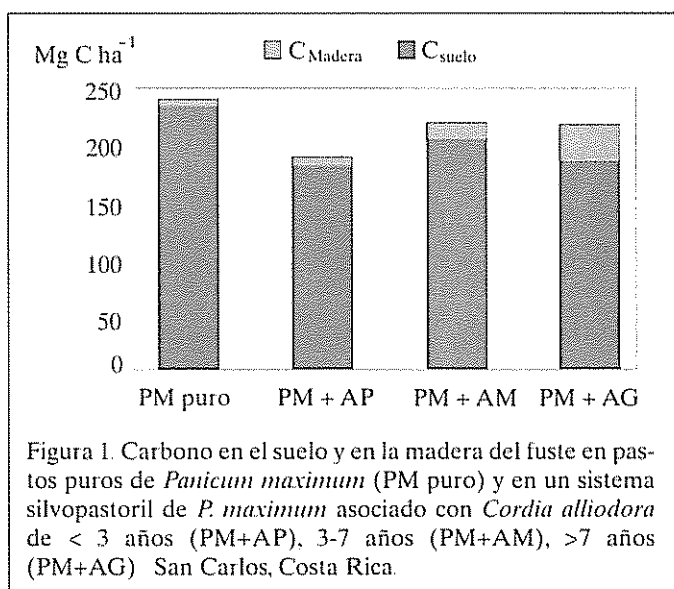
**Crecimiento de las especies.** Las densidades de los árboles en las parcelas silvopastoriles fueron 30% menor en el rodal de >7 años que en rodales jóvenes (Cuadro 1). El crecimiento de los árboles de tres a siete años fue comparable a lo reportado para una plantación pura de *C. alliodora* de cinco años en Talamanca, Costa Rica (Lucas *et al.*, 1995). La densidad de macollos del pasto guinea fue 20% mayor en pasto puro que en las parcelas con árboles pequeños. Entre más grandes los árboles, la densidad de macollos se redujo hasta un 40%.

**Almacenaje de C en el suelo y en la madera.** En el sistema silvopastoril, el suelo almacenó por lo menos seis veces más C que la madera del tallo de *C. alliodora* (Figura 1). En un bosque o una plantación, la mitad del C en el ecosistema se encuentra en la biomasa aérea (Dixon *et al.*, 1994). Se encontró más C en el suelo de la pastura sola que en la pastura con árboles, lo cual podría deberse a diferencias en la fertilidad del suelo entre sitios. En la pastura pura el suelo tenía mayor cantidad de  $N_{\text{total}}$  y se encontraba menos compacto. La reducción de la densidad del pasto debajo de la sombra de los árboles pudo también afectar el almacenaje de C en el suelo. Pastos bien manejados influyen positivamente sobre el C en el suelo (Fisher *et al.*, 1994).

La concentración de C en el suelo se redujo con la profundidad (Figura 2) y con la distancia al árbol más cercano del punto de muestreo:

**Cuadro 1.** Densidades de *Panicum maximum* y *Cordia alliodora* y promedios de diámetro del tallo a la altura del pecho (d), altura total (h), área basal (G) y volumen total (V) de los árboles. San Carlos, Costa Rica.

Parcelas	<i>P. maximum</i> (macollos ha <sup>-1</sup> )	<i>C. alliodora</i> (árboles ha <sup>-1</sup> )	d (cm)	h (m)	G (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	V (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
1. Pasto puro	9822	0	-	-	-	-
2. Árboles < 3 años	8086	180	7.8	6.0	0.9	9.36
3. Árboles 3-7 años	7827	153	17.8	15.2	3.9	35.19
4. Árboles >7 años	6000	125	30.0	22.7	8.8	107.50



**CONCLUSIONES**

En suelos de fertilidad media y bien drenados, el sistema silvopastoril de *P. maximum* y *C. alliodora* tiene el potencial de acumular C en la biomasa, sin disminuir el C en el suelo durante los primeros siete a diez años de crecimiento. En el sistema silvopastoril, además, se genera ingresos para el productor, la madera producida almacena el C por muchos años (si se utiliza como madera de construcción) y, a la vez, se reduce la presión sobre el C almacenado en la madera de los bosques naturales. Se necesitan estudios comparativos en diferentes ecozonas y combinaciones de especies de pasto y árboles que permitan elaborar una propuesta para incentivar sistemas silvopastoriles a nivel nacional.

Figura 1. Carbono en el suelo y en la madera del fuste en pastos puros de *Panicum maximum* (PM puro) y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* asociado con *Cordia alliodora* de < 3 años (PM+AP), 3-7 años (PM+AM), >7 años (PM+AG) San Carlos, Costa Rica.

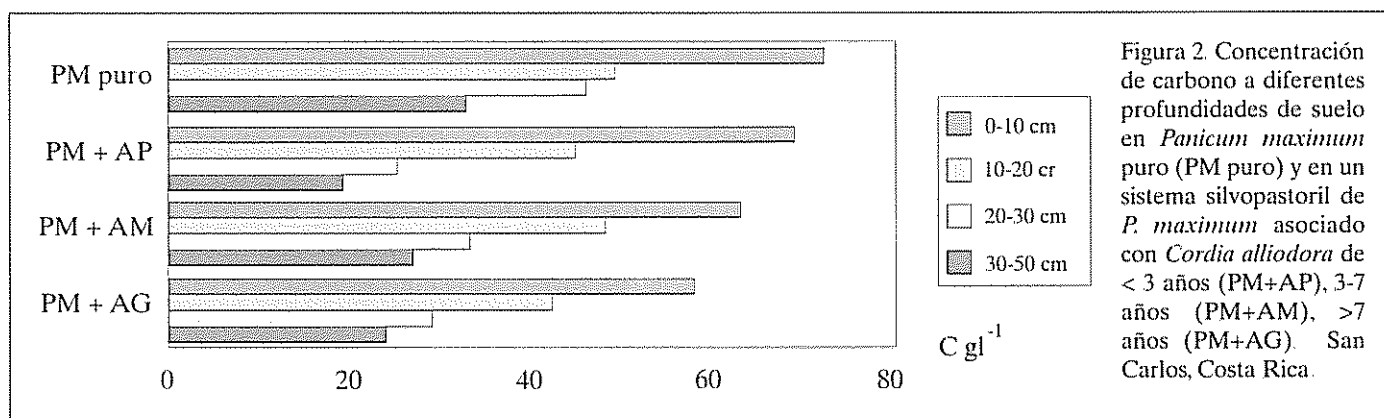


Figura 2. Concentración de carbono a diferentes profundidades de suelo en *Panicum maximum* puro (PM puro) y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* asociado con *Cordia alliodora* de < 3 años (PM+AP), 3-7 años (PM+AM), >7 años (PM+AG). San Carlos, Costa Rica.

*P. maximum* asociado con *C. alliodora*  
de 3-7 años de edad:

$$C_{\text{suelo}} \text{ (g l}^{-1}\text{)} = 48.64 - 3.05 * D \quad p = 0.013 \quad R^2 = 0.25;$$

*P. maximum* asociado con *C. alliodora*  
de >7 años de edad:

$$C_{\text{suelo}} \text{ (g l}^{-1}\text{)} = 42.91 - 2.29 * D \quad p = 0.046 \quad R^2 = 0.17;$$

donde D corresponde a la distancia al árbol más cercano del punto de muestreo.

Este patrón se pudo relacionar con la acumulación de materia orgánica proveniente de la hojarasca y de las raíces de los árboles. Sin embargo, los R<sup>2</sup> de ambos modelos son muy bajos, lo que indica que hay otros factores que influyen mucho sobre la distribución del C en el suelo. Estos factores incluyeron, por ejemplo, la distribución de las heces del ganado o la distribución y densidad de los macollos del pasto.

**BIBLIOGRAFÍA CITADA**

Diaz-Romeu R y Hunter A (1982) Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero Serie Materiales de Enseñanza No 12. CATIE, Turrialba, Costa Rica

Dixon RK, Brown S, Houghton RA, Salomon AM, Trexler MC and Wisniewski J (1994) Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 185-190

Fisher MJ, Rao IM, Ayarza MA, Lascano CE, Sanz JI, Thomas RJ and Vera RR (1994) Carbon storage by introduced deep rooted grasses in the South American savannas. Nature 371: 236-238

Lucas C, Beer J y Kapp G (1995) Reforestación con maderables. Sistemas agrosilviculturales vs plantaciones puras en Talamanca, CR. Resultados agrícolas y forestales. Serie Técnica. Informe Técnico 243. CATIE. Turrialba, CR. 65 p.

Lugo AE and Brown S (1993) Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. Plant and Soil 149: 27-41

Post WH, Emanuel WR, Zinke PS and Stangenberger AG (1982) Soil carbon pools and world life zones. Nature 298: 156-159

Somarrriba E and Beer J (1987) Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. Forest Ecology and Management 18(2): 113-126

Veldkamp E (1994) Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. Soil Science Society of America Journal 58: 175-180