

CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN LA ZONA ATLÁNTICA DE COSTA RICA

A. Lopez Musalem¹, A. Schlönvoigt², M. Ibrahim², C. Kleinn³, M. Kanninen⁴

¹Egresado del Programa de Maestría, CATIE.

²Unidad Desarrollo de Sistemas Agroforestales. Area de Cuencas y Sistemas Agroforestales, CATIE, Turrialba 7170, Costa Rica

³Unidad de Biométrica, CATIE.

⁴Programa de investigación, CATIE.

Abstract

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 Tropofluent soil stored 233 t C ha⁻¹ in the upper 50 cm under pure green Panic pasture (*Panicum maximum* Jacq.). In association with three different growth stages of natural regeneration of salmwood (*Cordia alliodora* Ruiz&Pav.) Oken; <3, 3-7, >7 years), the soil was less fertile and stored similar amounts of between 180-200 t C ha⁻¹. C concentrations decreased with soil depth and distance from the tree. Variability of C distribution increased with soil depth and age of the stand.

Key words: *Cordia alliodora*, distribución de carbono, *Panicum maximum*, secuestro de carbono, suelo

Introducción

El dióxido de carbono (C) es el principal gas de invernadero que contribuye al cambio climático. En el suelo el C está almacenado como parte de la materia orgánica, y representa una importante reserva de C dentro de la biósfera, estimado en más de 1,400 Gt (1Gt = 10¹⁵ g) a nivel global, casi el doble del que hay en la atmósfera (Post *et al.*, 1982). En los últimos 25 años en la zona Atlántica de Costa Rica, la conversión del bosque a pasturas poco productivas ha resultado en una pérdida neta de 150-2180 g C m⁻² del suelo, dependiendo del tipo de suelo (Veldkamp, 1994). Sin embargo, en otros países tropicales aumentos en la reserva de C del suelo fueron reportados especialmente para pasturas mejoradas y bien manejadas (Lugo & Brown, 1993; Fisher *et al.*, 1994). Los niveles de degradación ambiental en Latinoamérica obligan a orientar la política de desarrollo hacia un manejo sustentable de los recursos, en donde los incentivos forestales para el secuestro de C pueden fomentar la adopción de los sistemas agroforestales. Este estudio de caso en San Carlos, Costa Rica, dio resultados sobre C almacenado en el suelo bajo pasto puro y un sistema silvopastoril que incluye pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz&Pav) Oken) en tres diferentes etapas de regeneración natural de esta especie maderable.

Metodología

Descripción del sitio y manejo de las pasturas. La investigación se realizó en la finca La Guaría a 3 km de La Fortuna de San Carlos, en la Región Norte de Costa Rica (10°28' N, 84°35' O, 250 msnm). La región pertenece a la zona del bosque muy húmedo tropical, con clima caliente y una estación seca corta. La precipitación media anual es de 3.609 mm y la temperatura media anual es de 26,1°C. Los suelos en las parcelas experimentales se

clasifican como *Typic Tropofluvent* (USDA) de textura gruesa, pH ligeramente ácido y media a baja fertilidad. Las pasturas fueron establecidas hace 50 años, cuando agricultores colonizaron esta zona para dedicarse a la ganadería; en el caso de La Guaria, de doble propósito. Hace 15 años se comenzó a permitir la regeneración natural de *C. alliodora* en las pasturas en la finca experimental. Se manejan los pastos o con apartados de 0.7 ha (50 animales durante cuatro días, después aproximadamente cinco semanas de descanso) o de 4 ha (50 animales durante dos semanas, después aproximadamente cinco semanas de descanso). Cada tres meses se chapean los pastos manualmente.

Muestreo y mediciones. Se establecieron cuatro parcelas de observación sin repeticiones: pasto solo, pasto con árboles pequeños (<3 años), pasto con árboles medianos (3-7 años) y pasto bajo árboles grandes (>7 años). La primera se localizó dentro de un potrero de 4 ha a 800 m de las otras tres parcelas, las cuales se encontraban contiguas en apartos de 0.7 ha. En todas las parcelas se contó el número de macollos de *P. maximum* presentes en una subparcela de 10 m². En las parcelas arborizadas, se realizó un inventario del componente forestal, estimando la densidad de los árboles por hectárea y midiendo el diámetro del tallo a la altura del pecho (dap), la altura total y el diámetro de copa (excepto en la parcela con árboles pequeños) de veinte árboles, que formaban un rodal dentro de la parcela. En cada parcela, se seleccionaron un área de 20x20m con aproximadamente 10 árboles representativos para el muestreo del suelo. Quitando un borde de 2,5m, se ubicó una rejilla de 6*4 puntos a 3*5m de distancia en el centro de éste área. En cada punto, se tomaron muestras de suelo a cuatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 y 30-50cm) con un barreno de 8cm de diámetro. De cada muestra, se tomó una submuestra de suelo de 20g, para la determinación de C orgánico por el método de Walkley-Black. Para la conversión de materia orgánica a C del suelo se usó el factor 1.72 (Diaz-Romeu y Hunter, 1982).

Análisis de datos. El C almacenado en cada capa del suelo, se calculó como valores promedios con los intervalos de confianza respectivos en g 50cm⁻² (este corresponde al área muestreado en cada punto de la rejilla) o en t ha⁻¹, y g l⁻¹ de suelo, que corresponde a la concentración de C en el suelo. Se compararon los sistemas pasturas solas y asociadas con *C. alliodora* en cuanto al contenido de C en el suelo consciente de la limitación que hubo diferencias entre el manejo del pasto puro y del sistema silvopastoril. Se probó un modelo de regresión lineal multivariado (p< 0,05), con el objetivo de detectar una relación entre el C del suelo secuestrado hasta una profundidad de 50 cm con las variables distancia a los tres árboles más cercanos y sus medidas respectivas: dap y altura total. El volumen de madera del tallo de *C. alliodora* se calculó según Somarriba y Beer (1987). La cantidad de C almacenado en la madera, se calculó para cada árbol multiplicando el volumen por el factor de 0.25 que toma en cuenta tanto la densidad de la madera (g cm⁻³) como el porcentaje de C en la biomasa, ambos reportados como 0.5. La acumulación de C en la madera por hectarea se calculó en base de la densidad de los árboles.

Resultados y discusión

Crecimiento de las especies. Las densidades de los árboles en las parcelas silvopastoriles disminuyeron en un 30% comparando las parcela <3 y >7 años (Tabla 1). El crecimiento de los árboles de tres a siete años corresponde a datos reportados 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 era en 20 % más alto en pasto puro que en las parcelas con

árboles pequeños. Entre más grandes los árboles, se redujo la densidad de macollos hasta un 40%. La reducción de la densidad de los macollos de *P. maximum* debajo de los árboles se puede relacionar con la sombra y competencia generada por los árboles.

Tabla 1. Densidades de *Panicum maximum* y *Cordia alliodora* en las parcelas experimentales en San Carlos, Costa Rica, y valores promedios de edad (a), diámetro del tallo a la altura del pecho (\bar{d}), altura total (\bar{h}), área basal (G) y volúmen total (V) de los árboles

Parcelas	Densidad	Densidad	a	\bar{d}	\bar{h}	G	V	C*
	<i>P. maximum</i>	<i>C. alliodora</i>						
	(ind. ha ⁻¹)	(ind. ha ⁻¹)	(años)	(cm)	(m)	(m ² ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)
1. Pasto puro	9822	0	-	-	-	-	-	-
2. Árboles pequeños	8086	180	< 3	7.8	6.0	0.9	9.36	2.34
3. Árboles medianos	7827	153	3 - 7	17.8	15.2	3.9	35.19	8.80
4. Árboles grandes	6000	125	> 7	30.0	22.7	8.8	107.50	26.88

* almacenado en los tallos de los árboles

Almacenaje de C en el suelo. En el sistema silvopastoril, el suelo almacenó por lo menos seis veces más cantidad de C que la madera del tallo de *C. alliodora* (Tabla 1, Figura 1). En un bosque o una plantación, la mitad del C en el ecosistema se puede encontrar en la biomasa aérea (Dixon *et al.* 1994); sin embargo, las densidades y edades de los árboles en estos bosques o plantaciones forestales son mucho más altos que en este estudio. La diferencia en contenido de C entre la pastura sola y la pastura con árboles se puede relacionar con una diferencia en la fertilidad del suelo entre sitios, ya que bajo pastura pura hubo porcentajes más altos de N_{total} y menos compactación. La composición química del suelo puede ser más importante en la determinación de la producción de materia orgánica que el clima (Vogt *et al.*, 1996). Estas limitaciones son probablemente el resultado del diferente manejo del pasto solo y de las parcelas con árboles. Además, la reducción de la densidad del pasto debajo de la sombra de los árboles puede afectar el almacenaje de C en el suelo, debido a que pastos bien manejados influyen positivamente sobre el C en el suelo (Fisher *et al.*, 1994).

La concentración de C en el suelo redujo en todas las parcelas con la profundidad. La variabilidad entre puntos de muestreo era más baja en pasto puro y más alta en parcelas con árboles grandes. La presencia de árboles grandes aumentó la variabilidad de C sobre todo en capas más profundas. Lo anterior es confirmado por los resultados de las regresiones multivariadas para las parcelas con árboles medianos y grandes; que indican un aumento en la cantidad de C al disminuir la distancia al árbol más cercano.

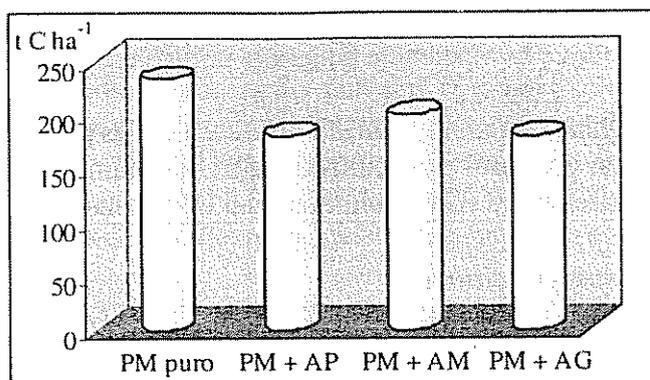


Figura 1. Almacenaje de carbono en el suelo (0-50 cm) debajo del pasto *Panicum maximum* puro (PM puro) y en asociación con *Cordia alliodora* < 3 años (PM+AP), 3-7 años (PM+AM), >7 años (PM+AG) en San Carlos, Costa Rica

Conclusiones

Este estudio de caso sobre el secuestro de C en el suelo de un sistema silvopastoril con *P. maximum* y *C. alliodora* de regeneración natural indica que en suelos medio fértiles y bien drenados este sistema tiene el potencial de acumular C en la biomasa, sin disminuir el C en el suelo durante los primeros diez años de crecimiento. Se genera ingresos para el productor y la madera producida almacena el C por muchos años, si está utilizada como madera de construcción, y a la vez se reduce la presión sobre el C almacenado en los bosques. Hay que comprobar estos resultados con estudios complementarios que incluyen diferentes ecozonas, especies de pasto y forestales para poder elaborar una propuesta para incentivar sistemas silvopastoriles a nivel nacional.

Literatura 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, R.K.; Brown, S.; Houghton, R.A. Salomon, A.M.; Trexler, M.C.; Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190
- Herrera, W. 1985. Clima de Costa Rica. In: Gomez LD (ed) *Vegetación y clima de Costa Rica* 2. ed Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica
- Lucas, C., Beer, J., 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
- Lugo, A.E., Brown, S. 1993. Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. *Plant and Soil* 149: 27-41
- Post, W.H., Emanuel, W.R., Zinke, P.S., Stangenberger, A.G. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298: 156-159
- Somarriba, E.; 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
- Vogt, A.K., Vogt, D.J., Palmiotto, P.A., Boon, P., O Hara, J., Asbjorsen, H. 1996. Review of root dynamics in forested ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil* 187: 159-219