

Avances de Investigación

Suelos del valle y del piedemonte en Talamanca: un paisaje dinámico para el almacenamiento de carbono

Beth Polidoro¹, Leigh Winowiecki¹, J. Johnson-Maynard, P. McDaniel, M. Morra

RESUMEN

El tipo de suelo, la posición en el paisaje, vegetación y los procesos geomorfológicos dinámicos deben ser considerados cuando se estima y evalúa el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. Talamanca es una región de piedemonte dominada por suelos clasificados como Ultisoles e Inceptisoles y una enorme llanura aluvial o valle dominada por Entisoles. Ambas posiciones del paisaje son susceptibles a eventos de erosión, inundaciones y derrumbes que influyen en las características del suelo. El almacenamiento de carbono fue estimado utilizando perfiles de suelo de 1 m de profundidad en ambos tipos de paisaje. Aunque los suelos del valle son muy variables, almacenaron entre 95 y 350 Mg C ha⁻¹, mientras los valores de almacenamiento de carbono en el piedemonte fueron de entre 81 y 176 Mg C ha⁻¹. El carbono de la subsuperficie del suelo es un importante componente del carbono total almacenado en ambos tipos de suelo. Las próximas investigaciones del suelo deben tomar en cuenta las diferencias entre los tipos de suelos y el uso de la tierra para entender mejor las dinámicas de carbono en el paisaje de Talamanca.

Palabras claves: densidad aparente, dinámica de carbono, perfiles de suelo, profundidad, relieve, sistemas agroforestales.

Soils in the valley and foothills areas of Talamanca, Costa Rica: A dynamic landscape for carbon storage

ABSTRACT

Soil type, landscape position, vegetation, and dynamic geomorphological processes must be considered when estimating and understanding belowground carbon storage. The Talamanca landscape consists of a foothill region dominated by Ultisols and Inceptisols and a large alluvial floodplain dominated by Entisols. Both landscape positions are susceptible to erosion, flooding and landslide events that continue to influence soil characteristics. Carbon storage was calculated using 1 m deep soil profiles in both the foothills and floodplain. Although floodplain soils are highly variable, they were calculated to store between 95 and 350 Mg C ha⁻¹, compared to foothill carbon storage values between 81 and 176 Mg C ha⁻¹. Subsurface soil carbon is an important source of the total carbon storage in both soil types. Further soil research must take into account differences in both soil type and land use to better understand carbon dynamics throughout the Talamanca landscape.

Keywords: Agroforestry systems, bulk density, carbon dynamics, depth, landscape, soil profiles.

INTRODUCCIÓN

El carbono es una parte importante de la biomasa y materia orgánica del suelo (Van Noordwijk et ál. 1997), que ayuda a retenerlo y mitigar el cambio climático (Jia y Askiyama 2005, Lal 2005, Mutuo et ál. 2005). La cuantificación del carbono del suelo permite estimar la tasa de descomposición, almacenamiento y la dinámica del componente orgánico del suelo (Balesdent y Marriotti 1996), evaluar los efectos del cambio de uso de la tierra sobre el suelo (Schroth et ál. 2002) y estimar la produc-

tividad del ecosistema (Schlesinger 1997). El tipo de suelo, el contenido y la mineralogía de las arcillas, el pH, la historia de uso del suelo y los procesos dinámicos (como erosión y deslizamientos) que transportan suelo y carbono a través del paisaje (Feller et ál. 2001, Powers y Schlesinger 2002) afectan potencialmente el contenido de carbono del suelo.

El movimiento de carbono a lo largo del paisaje presenta varias etapas. Las fases iniciales de las inundaciones, caracterizadas por alta velocidad de flujo, pueden remover

¹ Estudiantes de Doctorado CATIE/University of Idaho. Correos electrónicos: bethpolidoro@vandals.uidaho.edu; leigh@vandals.uidaho.edu

suelo y vegetación, mientras que en fases posteriores una velocidad más baja permite la deposición de sedimentos suspendidos y nuevos materiales de suelo. Los suelos de las llanuras aluviales generalmente tienen un depósito neto de carbono, cuando se considera las llanuras en su totalidad, aunque los nuevos depósitos de inundaciones en las partes superiores de las llanuras aluviales pueden tener inicialmente una menor concentración de carbono en el suelo. En este artículo se (i) cuantifica el almacenamiento potencial de carbono en dos diferentes tipos de suelo bajo diferentes usos de la tierra en Talamanca indígena, Costa Rica, y (ii) ilustra cómo las inundaciones periódicas afectan las existencias de carbono en la capa superficial del suelo en el valle de Talamanca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

La región de Talamanca puede separarse en tres paisajes: montañas escarpadas, piedemontes ondulados y un valle aluvial extenso (Borge y Cartillo 1997). La Cordillera de Talamanca está compuesta principalmente de sedimentos terciarios entremezclados con depósitos de caliza y material volcánico (Weyl 1980, Bergoing 1998, Denyer y Kussmaul 2000). La precipitación anual varía, según la altitud, entre 2600 mm en las partes bajas (40 m) y 6400 mm en las partes más altas (1000 m). La combinación de alta precipitación y pendientes escarpadas eleva la tasa de meteorización, lixiviación y erosión, y provoca inundaciones frecuentes (Borge y Castillo 1997).

El paisaje de Talamanca es un mosaico de tres tipos de suelos: Ultisoles, Inceptisoles y Entisoles. Los Ultisoles e Inceptisoles se encuentran principalmente en los piedemontes de Talamanca (Kapp 1989). Los Ultisoles son suelos profundos, enriquecidos con arcilla, bajo pH y bajo contenido de bases (Soil Survey Staff 2003). Los Ultisoles generalmente se forman en superficies viejas, en tierras relativamente estables, bajo condiciones climáticas húmedas y tibias que promueven la lixiviación de los cationes básicos. La arcilla dominante en los Ultisoles tropicales es la caolinita (Sánchez 1976). En contraste con los Ultisoles, los Inceptisoles son suelos jóvenes, débilmente desarrollados, en posiciones del paisaje poco estables (Soil Survey Staff 2003). Los Inceptisoles no acumulan arcilla con la profundidad y pueden tener altos o bajos contenidos de bases (Soil Survey Staff 2003). El uso de la tierra en el piedemonte de Talamanca está dominado por sistemas agroforestales con cacao y banano, sistemas de cultivos estacionales (*shifting cultivation*) y bosques secundarios (Somarriba et ál. 2003).

Los Entisoles son suelos recientemente depositados; se encuentran principalmente en el valle de Talamanca (Kapp 1989). En esta posición del paisaje, los Entisoles están fuertemente influenciados por eventos de deposición y erosión provocados por las inundaciones periódicas de los cinco ríos principales que desaguan de las montañas de Talamanca. La morfología de estos suelos del valle es extremadamente variable y consiste en múltiples horizontes enterrados, dependiendo de su posición en la llanura y la frecuencia de las inundaciones. Los Entisoles están principalmente dominados por la arcilla esmectita y son ricos en cationes básicos (Juo y Franzluebbbers 2003). El uso de la tierra en el valle de Talamanca está dominado por monocultivo de plátano, sistemas agroforestales con cacao y banano y muy pocas áreas de bosque natural (Morera et ál. 1999).

Muestreo del suelo en el piedemonte

En el piedemonte se tomaron muestras de suelo de perfiles de 1 m profundidad bajo sistemas agroforestales con cacao y bosque secundario en las comunidades de Sibujú, San Miguel, San Vicente y Yorkín. Se tomaron 36 muestras por horizonte de seis pedones representativos. Se secaron las muestras al aire, se tamizaron a 53 μm , se secaron al horno a 60 °C por 24 h, se pesaron y se utilizaron para calcular el carbono por combustión seca en un analizador Elemental VarioMax CNS. El pH del suelo fue determinado usando el método 1:1 (suelo: agua desionizada) (NRCS 1996). Se utilizaron los datos de densidad aparente de los suelos de Talamanca medida con el método del cilindro (Segura 2005, sin publicar).

Muestreo del suelo en el valle

Todos los suelos del valle se muestrearon entre cuatro y diez meses después de la fuerte inundación de enero 2005. Las muestras de suelo del valle fueron tomadas de siete fincas de plátano en monocultivo (1-2 ha) ubicadas en Shiroles y China Kicha (cuatro de las fincas inundadas y tres no inundadas). En cada finca, se barreararon entre seis y ocho perfiles de suelo a lo largo de un transecto de 150 a 200 m, tomando muestras de suelo de cada horizonte a una profundidad de 1,0 a 1,2 m. Se tomó un total de 168 muestras de 47 perfiles de suelo del valle. Todas las muestras se secaron al aire, se tamizaron a 2 mm y se analizaron para estimar el contenido de materia orgánica por pérdida en ignición (NRCS 1996). El contenido de carbono se estimó multiplicando el contenido de materia orgánica por el factor 0,37, el cual se derivó de los valores del carbono total de las sub-muestras de treinta y tres muestras analizadas en el equipo Elemental VarioMax CNS. El pH del suelo fue

determinado usando el método 1:1 (suelo: agua desionizada) (NRCS 1996). La densidad aparente para cada muestra se obtuvo del peso de las muestras secadas al horno de un volumen conocido y colectado en el campo (NRCS 1996). El carbono total en el perfil del suelo se calculó según la Ecuación 1.

$$TC = \sum_i (V_i * \rho_{bi} * C_i) \quad [1]$$

donde:

- TC: Almacenamiento de carbono orgánico en suelos (Mg C ha⁻¹)
 V: Volumen de suelo del horizonte *i* (m³ ha⁻¹)
 ρ_b: Densidad aparente del suelo del horizonte *i* (Mg m⁻³)
 C: Contenido de carbono orgánico del suelo en horizonte *i* (g C g suelo⁻¹)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades y carbono del suelo

La profundidad del horizonte, pH, densidad aparente y carbono acumulado se muestran en el Cuadro 1. Los Ultisoles ubicados en el piedemonte fueron más ácidos (pH < 5) y tuvieron mayor densidad aparente que los suelos del valle. Los Entisoles en el valle tienen un porcentaje más alto de carbono por peso en todos los horizontes en comparación con los suelos del piedemonte. Estos datos de carbono de suelos en el piedemonte de Talamanca están en el rango reportado por van Noordwijk et ál. (1997) para las capas superficial y sub-superficial de suelos cultivables y de bosques secundarios en Sumatra. Los datos de carbono

de suelos del valle de Salamanca están también dentro del rango reportado por van Noordwijk et ál. (1997) para Entisoles (Psamments, Orthents y Fluvents). Los Entisoles del valle son extremadamente variables (Nieuwenhuys 1994), lo que no permite comparaciones sencillas entre las muestras de suelos tomadas a profundidades iguales. Tales variaciones son producto de la distribución irregular y desigual de las inundaciones en el tiempo. Dentro de la región de Talamanca, las comparaciones del almacenamiento de carbono en estos dos tipos de suelos son aun más difíciles por el efecto potencial de la variación de usos de suelo y prácticas de manejo de las fincas.

Distribución vertical del carbono en los suelos de Talamanca

La distribución del carbono en el perfil del suelo fue influenciada por la deposición, lixiviación, descomposición y reincorporación de biomasa. En suelos del piedemonte, el carbono disminuyó regularmente con la profundidad (Figura 1); a menudo la capa superficial tuvo el doble de carbono que los horizontes subsuperficiales. Los suelos del piedemonte no varían mucho en las existencias, ni en el patrón de distribución vertical del carbono. Los suelos del valle almacenan más carbono que los del piedemonte, y fueron más variables en la distribución del carbono en el perfil.

Perfil del almacenamiento de carbono

El almacenamiento de carbono en los dos tipos de suelos refleja diferencias no solamente en el porcentaje de carbono, sino también en el grosor del horizonte y en la densidad aparente. Los suelos del

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas promedio por horizonte del suelo en el piedemonte y el valle de Talamanca indígena, Costa Rica

Uso del suelo	Posición en paisaje	Orden del suelo	Profundidad del horizonte (cm)	Densidad aparente (Mg m ⁻³)	pH (H ₂ O)	COS (%)
Cacao/ bosque	Piedemonte	Ultisol/ Inceptisol	0-10	1,1	4,0 (0,6)	3,6 (0,9)
			10-33	1,3	4,0 (0,5)	1,5 (0,5)
			33-57	1,3	4,3 (0,5)	0,9 (0,3)
			57-98	1,3	4,5 (0,5)	0,5 (0,2)
Plátano	Valle	Entisol	0-13	1,0 (0,1)	6,9 (0,7)	2,9 (1,2)
			13-44	1,0 (0,1)	6,7 (0,3)	2,2 (0,7)
			44-86	1,0 (0,1)	6,9 (0,4)	1,8 (0,7)
			86-107	1,0 (0,1)	7,2 (0,4)	1,4 (0,5)

Notas: COS = carbono orgánico del suelo. Valores de desviación estándar entre paréntesis.

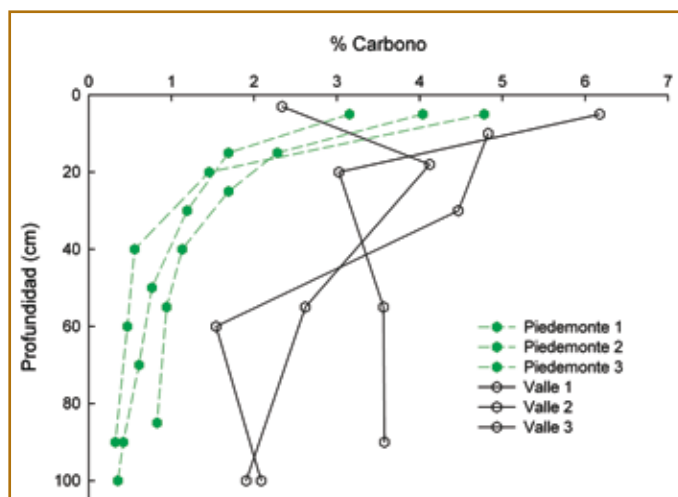
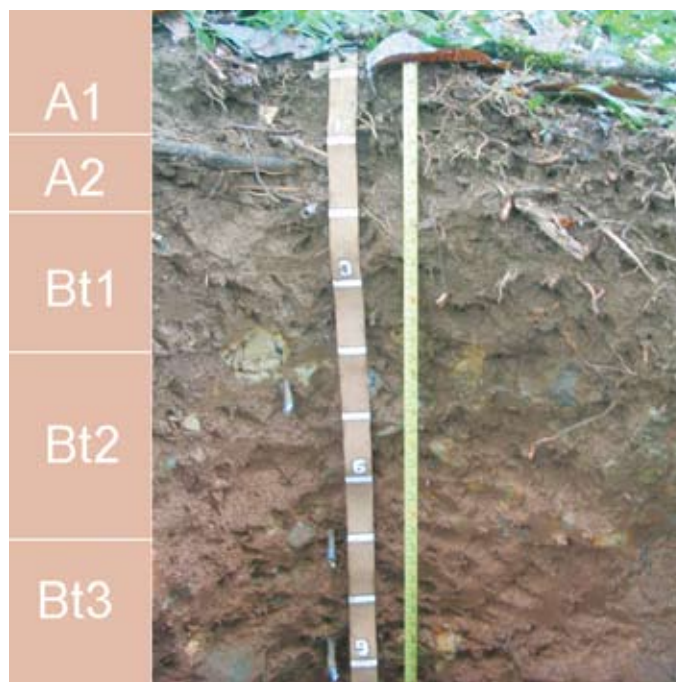


Figura 1. Distribución del carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades en tres perfiles del piedemonte y tres en el valle de Talamanca indígena, Costa Rica. Los datos están marcados en el punto medio de los horizontes muestrados

valle pueden almacenar hasta el doble del carbono en 1 m de perfil que los suelos del piedemonte (Figura 2). Los suelos del piedemonte almacenan entre 81 y 176 Mg C ha⁻¹ en 1 m de perfil. El carbono almacenado en la capa superficial (0-10 cm) en los suelos del piedemonte de Talamanca bajo cacao fue el doble de lo reportado para la capa superficial (0-15 cm) de sistemas agroforestales con cacao en Ghana (Issac et ál. 2005). Esto podría deberse al mayor contenido de arcilla y a la mayor densidad de árboles en el piedemonte de Talamanca. Los suelos del valle almacenan 95-350 Mg C ha⁻¹ en 1 m de perfil (Figura 2). Aunque no se encontró en la literatura las estimaciones de almacenamiento de carbono a 1 m de profundidad en llanuras aluviales tropicales, el porcentaje de carbono orgánico del suelo encontrado en Talamanca es similar a las reportadas por Nieuwenhuyse (1994) para suelos de llanuras aluviales en Sixaola, Talamanca y por van Noordwijk et ál. (1997) para suelo en la capa superficial de Entisoles (0-10 cm) en Sumatra. Los suelos del valle de Talamanca parecen almacenar más carbono que el promedio global (130-160 Mg C ha⁻¹) estimado para suelos bajo bosques tropicales o sabanas tropicales (Jobbagy y Jackson 2000).

Carbono en la capa superficial de suelos inundados y sin inundar

Las muestras de la capa superficial de áreas inundadas estuvieron compuestas de material nuevo depositado,



Suelo del orden Ultisol en Talamanca (foto: Leigh Winowiecki)

presentaron una textura arenosa y un menor porcentaje de carbono orgánico que las muestras de suelo superficial de áreas no inundadas. La profundidad promedio de la capa superficial en suelos inundados fue de 15,7 cm con 2,1% de carbono orgánico, comparado con un 9,8 cm y 3,8%, respectivamente, en suelos no inundados. El primer horizonte o suelo superficial puede ser vulnerable a disturbios o cambios, especialmente en paisajes dinámicos tales como la llanura aluvial de Talamanca. Las inundaciones redistribuyen el carbono orgánico del suelo a través de la erosión, el transporte y la deposición (Martinelli et ál. 2003, Smith et ál. 2005). En la cuenca amazónica, por ejemplo, se estima que anualmente entran 150 millones de toneladas de sedimento al canal principal del río desde los suelos de llanuras aluviales, mientras que 200 millones de toneladas de sedimento son transferidos desde el río a las llanuras aluviales (Dunne et ál. 1998).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El almacenamiento de carbono orgánico en los suelos del valle es mayor y más variable que los suelos del piedemonte de Talamanca. Sin embargo, como el valle es más propenso a inundaciones, el contenido de carbono en el piedemonte podría ser más estable. La capa superficial del suelo protege y aumenta las reservas del carbono en los suelos subsuperficiales. Por eso, las estrategias de manejo deben tratar de mantener el carbono de las capas superficiales y atender especialmente las zonas vulnerables a la pérdida de carbono.

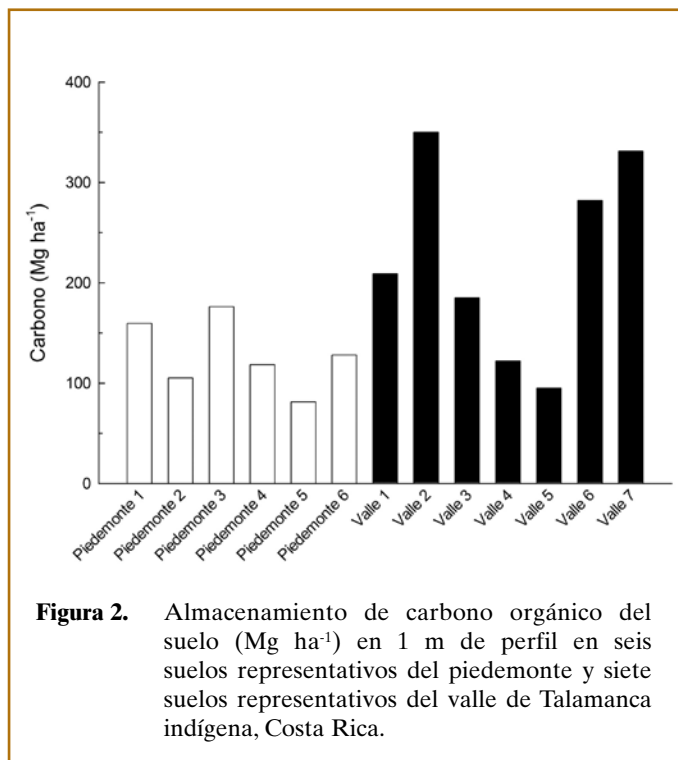


Figura 2. Almacenamiento de carbono orgánico del suelo (Mg ha⁻¹) en 1 m de perfil en seis suelos representativos del piedemonte y siete suelos representativos del valle de Talamanca indígena, Costa Rica.

AGRADECIMIENTOS

A Eduardo Somarriba y Marilyn Villalobos por su apoyo constante. También a Jeison Chale Rojas, Wilbur Hidalgo Fernández y Fidel Fernández Ríos por su fortaleza y conocimiento en el campo. A Franklin López y Carlos Aguirre Morales por su invaluable ayuda en el laboratorio. Finalmente, a Stacy Sesnie, Erika Barrientos y Mariangie Ramos por la traducción: ¡muchas gracias!

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Balesdent, J; Mariotti, A. 1996. Measurement of soil organic matter turnover using C-13 natural abundance. *In* Boutton, TW; Yamasaki, S. eds. *Mass Spectrometry of Soils*. New York, US, Marcel-Dekker. p. 83-111.

Bergoeing, JP. 1998. Geomorfología de Costa Rica. San José, CR, Instituto Geográfico Nacional. 416 p.

Borge, C; Castillo, R. 1997. Cultura y conservación en la Talamanca indígena. San José, CR. EUNED. 261 p.

Denyer, P; Kussmaul, S. 2000. Geología de Costa Rica. Cartago, CR, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 508 p.

Dunne, T; Mertes L; Meade, RH; Richey, JE; Fosberg, BR. 1998. Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil. *Geological Society of America Bulletin* 110:450-467.

Feller, C; Albrecht, A; Blanchart, E; Cabidoche, YM; Chevallier, T; Hartmann, C; Eschenbrenner, V; Larré-Larrouy, MC; Ndandou, JF. 2001. Soil organic carbon sequestration in tropical areas. General considerations and analysis of some edaphic determinants for Lesser Antilles soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61:19-31.

Issac, ME; Gordan, AM; Thevathasan N; Oppong SK; Quashie-Sam, J. 2005. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of

pools and fluxes. *Agroforestry Systems* 65:23-31.

Jia, S; Askiyama, T. 2005. A precise, unified method for estimating carbon storage in cool-temperate deciduous forest ecosystems. *Agriculture and Forest Meteorology* 134:70-80.

Jobbagy, EG; Jackson, RB. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10:423-432.

Juo, ASR; Franzluebbers, K. 2003. *Tropical Soils and Management for Sustainable Agriculture*. Oxford, UK, Oxford University Press. 281 p.

Kapp, GB. 1989. Perfil ambiental de la zona Baja de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 97 p. (Informe Técnico no.155).

Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220: 242-258.

Martinelli, LA; Victoria, RL; deCamargo, PB; deCassia Piccolo, M; Mertes, L; Richey, JE; Devol, AH; Fosberg, BR. 2003. Inland variability of carbon-nitrogen concentrations and delta C-13 in Amazon floodplain (varzea) vegetation and sediment. *Hydrological Processes* 17:1419- 1430.

Morera, C; Spencer, L; Chavarria A; Barrantes, E; Oviedo, M; Morales, G; Zuniga, R. 1999. Proyecto de ordenamiento de los territorios Bribri y Cabecar de Talamanca; Informe Final. 156 p.

Mutuo, PK; Cadish, G; Albrecht, A; Palm, CA; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emission from soil in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 43-54.

Nieuwenhuys, A. 1994. Los suelos de los sitios experimentales del proyecto agroforestal: Cantón de Talamanca, Costa Rica y distrito de Changuinola, Panamá. Guápiles, CR, CATIE-GTZ. 133 p.

NRCS. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. 3 ed. Washington, DC, USDA. 716 p.

Powers, JS; Schlesinger, WH. 2002. Geographic and vertical patterns of stable carbon isotopes in tropical rain forest soils of Costa Rica. *Geoderma* 109:141-160.

Sánchez, P. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, US, John Wiley and Sons. 618 p.

Schlesinger, WH. 1997. *Biogeochemistry: An analysis of global change*. 2 ed. Amsterdam, NL, Academic Press. 588 p.

Schroth, G; D'Angelo, SA; Teixeira, WG; Haag, D; Lieberei, R. 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. *Forest Ecology and Management* 163:131-150.

Segura, M. 2005. Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Informe final de consultoría, Proyecto Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica, CATIE. Turrialba, 46 p + anexos. *Datos sin publicar*.

Smith, SV; Slezee, RO; Renwick, WH; Buddemeier, RW. 2005. Fates of eroded soil organic carbon: Mississippi Basin case study. *Ecological Applications* 15:1929-1940.

Soil Survey Staff. 2003. *Keys to Soil Taxonomy*. 9 ed. Washington, DC, USDA. 332 p.

Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Moran, K; Orozco, L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10:24-30.

Van Noordwijk, M; Cerri, C; Woome, PL; Nugroho, K; Bernoux, M. 1997. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79:187-225.

Weyl, R. 1980. *Geology of Central America*. 2 ed. Alemania, Konrad Triltsch, Graphischer Betrieb, Wuezburg. 371 p.