

Agregación y carbono orgánico almacenado en suelos forestales en la unidad experimental de la Reserva Forestal Caparo. Barinas, Venezuela

Aggregation and organic carbon storage in forest soils in the experimental unit of Caparo Forest Reserve. Barinas, Venezuela

Erika Pedraza* y Omaira Márquez**

Recibido: 13-11-2009 / Aceptado: 27-05-2010

Resumen

Se estudió el comportamiento de la estabilidad de agregados, carbono asociado a los agregados, y se cuantificó el carbono almacenado en suelos forestales por un periodo de 24 años. Se aplicó un diseño estadístico experimental multietápico, estratificado con afijación fija con 10 replicaciones por tratamiento. Los muestreos se realizaron en el espesor de 0-20 cm. Los agregados fueron separados por tamizado en húmedo. Los suelos localizados en bosques de selvas sub-siempreverdes de sub-banco (SsSVsb) y selvas sub-siempreverdes de bajo (SsSVbj) presentaron el mayor contenido de macroagregados grandes estables (>2000 μ m). Los menores valores fueron encontrados en los suelos localizados en selvas deciduas de banco (SDB). El Índice de Estabilidad de Macroagregados del Suelo (SAI), que cuantifica la cantidad de macroagregados grandes (>250 μ m), mostró la siguiente secuencia en forma decreciente: P2-SsSVsB = P5-SsSVBj > P1-SsSVsB > P4-SDB. El carbono asociado a los macroagregados grandes estables > 2000 μ m fue mayor de 32,50 g kg⁻¹ en todos los suelos excepto en los suelos SDB. Estos resultados señalan que en un periodo de 24 años, los suelos secuestran carbono a una tasa de 1,81 Mg ha⁻¹ año⁻¹ bajo P1-SsSVsB, 1,83 Mg ha⁻¹ año⁻¹ bajo P5-SsSVBj, 1,14 Mg ha⁻¹ año⁻¹ bajo P2-SsSVsB y 0,13 Mg ha⁻¹ año⁻¹ bajo P4-SDB.

Palabras clave: estabilidad de agregados, carbono orgánico, selvas siempre verdes y selvas deciduas.

* Laboratorio Dinámica de Comunidades y Procesos Ecológicos Universidad Simón Bolívar.

** Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. omarquez@ula.ve.

Abstract

We studied the behavior of aggregate stability; carbon associated with aggregates, and quantified the carbon stored in forest soils for a period of 24 years. We performed a statistical experimental multistage stratified accretion sets with 10 replications per treatment. Sampling was conducted in thickness from 0-20 cm. Aggregates were separated by wet sieving. Located in forest soils of sub-evergreen Forests sub-bank (SsSVsb) and sub-evergreen forests bajo (SsSVbj) showed the highest concentration of stable large macroaggregates (>2000 μ m). The lowest values were found in soils of deciduous forests located in the bank (SDB). The stability index of soil macroaggregates (SAI), which quantifies the amount of large macroaggregates (> 250 μ m) showed the following sequence on a declining basis: P2-SsSVsb = P5-SsSVbj > P1-SsSVsb > P4-SDB. Carbon associated with stable large macroaggregates > 2000 μ m was higher of 32,50 g kg⁻¹ in all soils except in soils SDB. These data suggest that in a period of 24 years, soils under P1-SsSVsb sequester carbon at a rate of 1,81 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, P5-SsSVbj at a rate of 1,83 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, P2-SsSVsb do so at a rate of 1,14 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ and P4-SDB presented lower rates of carbon sequestration of 0,13 Mg ha⁻¹ yr⁻¹.

Key words: aggregate stability, organic carbon, deciduous forest, evergreen forests.

Introducción

La retroalimentación entre el ciclo del carbono orgánico del suelo y el de los agregados parece estar controlada por la formación y destrucción de asociaciones órgano-minerales espaciales y han sido divididas en complejos órgano-minerales primarios y secundarios (Christensen, 1996). Las asociaciones órgano-minerales secundarias pueden hallarse en las dos clases principales de tamaños de agregados que se reconocen frente al humedecimiento súbito, macroagregados y microagregados. Según Cambardella y Elliott (1993a, 1993b), la mayoría de los materiales que ligan microagregados para formar macroagregados pertenecen a una fracción liviana constituida por materia orgánica particulada (MOP) de densidad relativamente baja y materiales orgánicos asociados a minerales que provendrían de la actividad de microbios. Jastrow and Miller (1996) corroboraron que el crecimiento de las raíces e hifas fúngicas promueve la formación de macroagregados y que la actividad de

microbios permite acumular sustancias orgánicas que ligan a las partículas o agregados del suelo. Al mismo tiempo, observaron que bajo condiciones favorables de temperatura y humedad y con adecuadas cantidades de minerales de arcilla y cationes polivalentes, una proporción significativa de la materia orgánica incorporada se asocia rápidamente con material mineral. Bajo este modelo conceptual, el ciclo de formación de los agregados determina la dinámica de la MOP fina y ésta conduce a que el carbono orgánico en sitios no labrados se recluya en los macroagregados, entre otras formas, como asociaciones órgano-minerales (Six *et al.*, 1999). Estudios realizados por Márquez *et al.* (1999) señalan que el carbono asociado a la MOP fue 16-23% en suelos bajo bosque y pastura, mientras que en suelos bajo cultivos, esta fracción sólo representa entre el 15 y el 18%. Márquez (2001) reporta que la estabilidad de agregados estables representó 70% en suelos bajo pasto tipo C3, 55% bajo un bosque mixto, 38% bajo pasto tipo C4 y 36% bajo cultivo en rotación (maíz-soya). Asimismo, Márquez (2001) reporta que las cantidades de carbono asociadas a los macroagregados bajo pasto tipo C3 representan 11,3 mg Cg⁻¹ de carbono estabilizado más que en los macroagregados bajo cultivo. El objetivo del presente estudio es cuantificar la distribución de agregados por tamaño y estabilidad, así como el carbono asociado a estos agregados y estimar la tasa de secuestro de carbono tomando como referencia los datos publicados por Franco (1982) para un periodo de 24 años en diferentes tipos de bosque en la Estación Experimental Caparo, estado Barinas, Venezuela.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Estación Experimental Caparo, ubicada en el municipio Andrés Eloy Blanco del estado Barinas, Venezuela, entre las coordenadas 70° 56' 40" W, 7° 24' 43" N. La precipitación en la zona es de 1760 mm anuales en promedio, con una marcada estacionalidad. La temperatura media anual es de alrededor de 26,4°C (Franco, 1982). La vegetación natural fue clasificada por Vincent (1970), en seis comunidades dominadas por árboles: Selva Decidua de banco (SD banco), Selva sub-Siempreverde de banco (SsSV banco), Selva sub-Siempreverde de sub-banco (SsSV sub-banco),

Selva sub-Siempreverde de bajo (SsSV bajo), Selva Decidua de bajo (SD bajo) y Bosque ralo Deciduo de bajo (BR bajo). Revisiones posteriores del método estudiando características más detalladas de la estructura del suelo en la condición de bajo ampliaron las comunidades vegetales a diez (Carrero, 1996), sumándose a las originalmente propuestas las siguientes: Selva sub-Decidua de bajo (SsD bajo), Selva sub-Decidua de banco (SsD banco), Bosque Deciduo de bajo (BD bajo), Bosque sub-Deciduo de bajo (BsD bajo).

Los suelos son de origen aluvial reciente y poco meteorizado. Se distinguen, de manera general, los suelos de banco, sub-banco y bajo. Algunas de las propiedades físicas y químicas más importantes de los suelos estudiados fueron reportados por Franco (1982) (Tabla 1). Los grupos taxonómicos de los suelos comunes son: Eutrustepts y Dystrustepts (Soil Survey Staff, 2006).

Tabla 1. Relación entre los tipos de tipos de vegetación (Carrero, 1996) y las variables físicas, químicas descritas por Franco (1982) en las parcelas P1, P2, P4, P5.

Variabes	P1	P2	P4	P5
Clasificación Taxonómica	Eutrustept	Eutrustept	Dystrustept	Eutrustept
Vegetación	SsSVsB	SsSVsB	SDB	SsSVBj
Arcilla %	13,6	4,6	9,8	33,8
Limo %	22,75	11,7	10,95	51,05
Arena muy fina %	24,4	15,6	15,35	6,65
Arena fina %	35,55	60,35	33,55	3,15
Arena mediana %	1,90	7,05	28,05	4,00
Arena gruesa %	2,20	0,65	2,25	4,00
Clasificación textural	F ⁷⁰ /FA ¹⁴⁰	Fa ⁹⁰ /FL	Fa ⁹⁰ /am ¹⁷⁰	FAL ¹¹⁰ /F-am ¹⁶⁰
Reserva de agua mm	270	430	180	325
Ca cmol kg ⁻¹	3,94	6,41	0,74	7,14
Mg cmol kg ⁻¹	1,63	0,72	0,35	2,78
K cmol kg ⁻¹	0,15	0,14	0,05	0,32
Na cmol kg ⁻¹	0,13	0,07	1,96	0,30
Al cmol kg ⁻¹	0,24	0,09	1,96	1,48
CO g kg ⁻¹	9,80	12,30	9,10	13,50
pH	4,60	5,05	3,90	4,30
Área Basal m ² ha ⁻¹	27	27	19	29
Abundancia ind ha ⁻¹	300	304	272	362

*Selva sub-siempre verde de subbanco (SsSVsB); selva decidua de banco (SDB); selva sub-siempre verde de bajo (SsSVBj).

Para la toma de muestras en el campo se utilizó el diseño estadístico experimental multietápico, estratificado con afijación fija con 10 replicaciones por tratamiento. El nivel estratificado se refiere a los tipos de vegetación, las parcelas tienen forma cuadrada de 8 m x 8 m. Dentro de cada una de las parcelas de vegetación se establecieron diez (10) subparcelas o replicaciones de 2 m x 2 m. Aleatoriamente, se seleccionaron 3 subparcelas, y en cada una de ellas se tomó 1 muestra a una profundidad de 0-20 cm. Las 3 muestras fueron mezcladas para producir 1 muestra compuesta por cada replicación. Las muestras recolectadas en el campo fueron limpiadas (es decir, se eliminaron las raíces y hojarasca) y etiquetadas, se dejaron secar al aire y cada muestra fue pasada por un tamiz de 8 mm. De cada muestra compuesta se tomaron dos submuestras de 100g cada una, para ser usadas en la determinación de la distribución de agregados por tamaño, según el protocolo publicado por Márquez *et al.* (2004).

Este procedimiento nos permite separar los agregados por tamaño y estabilidad.

1. Macroagregados grandes estables e inestables con diámetros $>2000 \mu\text{m}$.
2. Macroagregados pequeños estables e inestables con diámetros entre 250 y $2000 \mu\text{m}$.
3. Microagregados con diámetros entre 53 y $250 \mu\text{m}$.
4. Fracción mineral con diámetros $<53 \mu\text{m}$.

Para la determinación del carbono asociado a los agregados del suelo para determinar el carbono se empleó el método de combustión húmeda de Walkley y Black (1934), modificado y citado por FONAIAP (1990).

A los datos obtenidos de la distribución de agregados estables por tamaño se les aplicó el Índice de Estabilidad de Macroagregados del Suelo (SMaI) desarrollado por Márquez *et al.*, (2004). El Índice de Estabilidad de Macroagregados del Suelo (SMaI) se define como el cociente entre el promedio ponderado de la cantidad de macroagregados estables ($>250 \mu\text{m}$) y el promedio ponderado de todos los agregados del suelo, tal como se expresa en la ecuación 1.1.

$$SMaI = \frac{n \sum_{j=1}^m [(m+1) - j] S_j}{m \sum_{j=1}^n [(n+1) - j] T_j} \quad (1.1)$$

donde:

m es el número total de fracciones de tamaño mayores de 250 μm ($m = 2$).

S_j es la cantidad de agregados estables en la fracción j .

T_j es la cantidad total de agregados en la fracción j (usando el pretratamiento en húmedo)

n es el número total de la fracciones ($n = 4$).

$j = 1$ para la fracción en tamaño mas grande.

El análisis estadístico utilizado fue el análisis de varianza. Para la separación entre medias se utilizo el test de diferencia mínima significativa (DMS). Todos los resultados fueron considerados significativamente diferentes a $P < 0,05$. El paquete estadístico usado fue el SAS (2000).

Resultados y discusión

Distribución de agregados estables e inestables

Los macroagregados estables grandes ($>2000\mu\text{m}$) representan un 41,36% en suelos localizados en P2-SsSVsB, este valor es significativamente más alto que en suelos localizados en P5-SsSVBj (35,29%) y P1-SsSVsB (30,08%) respectivamente. Los menores valores fueron encontrados en suelos localizados en P4-SDB (11,27%) presentando diferencias significativas con los valores encontrados en los otros tipos de bosque (Tabla 2). Los macroagregados estables pequeños (250-2000 μm) y los microagregados (53-250 μm) fueron significativamente más altos en los suelos localizados en P4-SDB (18,76%) y 42,53%), respectivamente.

Los macroagregados inestables grandes fueron significativamente menores en suelos de P4-SDB (10,31%) con respecto a suelos en P1-SsSVsB (24,3%), P2-SsSVsB (28,3%) y P5-SsSVBj (23,6%) respectivamente. Esto se debe a la baja estabilidad al agua que tienen estos suelos los cuales al des-

Tabla 2. Fracciones de agregados estables al agua (g) en suelos bajo diferentes tipos de vegetación en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo. Valores expresados utilizando corrección de arena.

Tamaño de agregados (μm)	Tipo de vegetación			
	SsSVsB	SsSVsB	SDB	SsSVBj
	Agregados Estables			
> 2000	18.87 a	29.67 b	7.47 c	22.60 a
250 – 2000	3.76 a	1.77 a	12.44 b	4.29 a
53 – 250	5.64 a	8.10 a	20.23b	5.22 a
< 53	7.03 a	1.87 b	5.90a	4.92 a
	Agregados Inestables			
> 2000	24,3a	28,3a	10,31b	23,6a
250 – 2000	3,14a	2,02a	1,95a	3,41a

Números seguidos con diferente letra dentro de la misma fila denota diferencias significativa a $P < 0,05$. Selva sub-siempre verde de subbanco (SsSVsB); selva decidua de banco (SDB); selva sub-siempre verde de bajo (SsSVBj).

agregarse se rompen en unidades más pequeñas constituyendo microagregados. Estos resultados son similares a los reportados Cambardella y Elliot (1993), Gale *et al.*, (2000) y Hernández y López (1998) quienes señalan que la estabilidad de agregados disminuye en suelos bajo cultivo usando labranza convencional, y es notorio que los macroagregados se desmoronan en las fracciones más pequeñas (microagregados), los cuales alcanzan un 70% del total de agregados.

Es importante destacar que los suelos de la P2-SsSVsB son los únicos en presentar mayor cantidad de macroagregados grandes estables que inestables, mientras que el resto presentó mayor cantidad de macroagregados inestables que estables.

La formación de agregados del suelo es el resultado complejo de la interacción entre procesos biológicos, químicos y físicos en el suelo (Tisdall y Oades, 1982). Los factores que agrupan la estabilidad de agregados en el suelo pueden ser agrupados en abióticos (arcillas, sesquióxidos, cationes), bióticos (materia orgánica, actividad de las plantas, fauna y microorganismos) y del medioambiente (temperatura y humedad del suelo) (Chen *et al.*, 1998). La tabla 1 muestra datos publicados por Franco (1992), los cuales nos permiten entender cuál de estos factores juega un papel importante en la formación

de agregados estables e inestables en estos suelos. Los suelos localizados en la P2-SsSVsB y P5-SsSVBj tienen una proporción similar de macroagregados estables e inestables, la presencia de macroagregados es de gran importancia porque estos influyen en la porosidad y por ende en la capacidad de reserva de asequible del suelo. La presencia de agregados inestables en ecosistemas no disturbados es parte del equilibrio entre la estabilización y desestabilización, es decir, la entrada de materia orgánica continua permite la estabilización de nuevos agregados y al mismo tiempo macroagregados estables son desestabilizados en sitios donde la materia orgánica se hace recalci-trante y pierde su efecto aglutinante, pero la formación de nuevos agregados estables mantiene el sistema en equilibrio. Otro punto importante de resaltar de los datos reportados por Franco (1992), es que los suelos localizados en estas parcelas presentan similares contenidos de carbono orgánico (12,30 y 13,50 g kg⁻¹), calcio (6,41 y 7,14 cmol kg⁻¹), y difieren en los contenidos de arcilla (4,60 y 33, 80%) y limo (11,7 y 51,05%). En contraste con los suelos de la P4-SDB que tiene valores mas bajos de carbono orgánico (9,10 g kg⁻¹) y calcio (0,74 cmol kg⁻¹), con altos contenidos de arena mediana.

Es importante destacar que a pesar de que el suelo P2-SsSVsB tiene un menor contenido de arcilla, presenta un importante contenido de arena muy fina y fina, por lo cual estas diferencias en los porcentajes de estas partículas no afectaron la formación de macroagregados en estos suelos, lo que podría estar relacionado con el hecho, que estas partículas de arena fina y muy fina se encuentran formando parte de estos macroagregados por el efecto aglutinante de la materia orgánica, calcio y las raíces. Franco (1982) reporta en la parcela 2 bosques de selva sub-siempreverde de sub-banco con una abundancia absoluta de 305 ind ha⁻¹ y un área basal de 27,03 m² ha⁻¹ y en la parcela 5 bosques de selva sub-siempreverde de bajo con una abundancia absoluta de 362 ind ha⁻¹ y un área basal de 29,20 m² ha⁻¹ (Tabla 1). En contraste, en la Parcela 4 bosques de selva decidua de banco con una menor abundancia de 272 ind ha⁻¹ y menor área basal 19 m² ha⁻¹ (Tabla 1). En general, los mayores contenidos de carbono orgánico, calcio, arcilla, arena fina y muy fina en los suelos de las parcelas P2-SsSVsB y P5-SsSVBj, favorecen la formación de macroagregados estables con la consecución de favorecer la presencia de macroporos y mesoporos permitiendo en estos suelos una mayor capacidad de reserva asequible de agua: 430 mm y 325 mm, respectivamente.

En contraste, los suelos localizados en la parcela P4-SDB presentan la menor reserva de agua asequible (180 mm). Los suelos localizados en las P1- SsSVsB presentan un comportamiento intermedio entre los valores reportados para suelos localizados en P2-SsSVsB y P5-SsSVBj y los suelos localizados en P4-SDB (Tablas 1 y 2).

Índice de Estabilidad de Macroagregados de Suelo (SAI)

El Índice de Estabilidad de Macroagregados del Suelo (SAI), que cuantifica la cantidad de macroagregados grandes ($>250\mu\text{m}$), mostró la siguiente secuencia en forma decreciente: P2-SsSVsB = P5-SsSVBj $>$ P1-SsSVsB $>$ P4-SDB. Estos valores indican que los suelos localizados en las parcelas P2-SsSVsB y P5-SsSVBj presenta una mayor estabilidad estructural que el resto de los suelos (Tabla 3). La importancia de determinar estos índices es que permite cuantificar la fragilidad de estos ecosistemas. Estos resultados reflejan moderada a baja estabilidad estructural, si los comparamos con estudios realizados por García (2006) para selva nublada donde reportan datos de 90% para el índice (SMal). Esta baja estabilidad se debe a que estos suelos presentan texturas con contenidos de arena mucho más altos (40-60%) y carbono orgánico más bajos que los suelos bajo selva nublada, los cuales presentan texturas arcillosas con contenidos menores del 10% de arena y altos contenidos de carbono orgánico (70-90 g kg^{-1}) estos índices están por encima de lo que se considera (Seybol *et al.*, 1998) como mínimo 30%.

Tabla 3. Valores del Índice de Estabilidad de Macroagregados del Suelo (SMal).

Tipo de Vegetación	SMal
SsSVsB*	39,38a
SsSVsB	46,46b
SDB	31,00c
SsSVBj	44,39b

Números seguidos con diferente letra denota diferencias significativa a $P<0,05$. *Selva sub-siempre verde de subbanco (SsSVsB); selva decidua de banco (SDB); selva sub-siempre verde de bajo (SsSVBj).

Carbono asociado a los agregados del suelo

Los contenidos de carbono orgánico asociados a los macroagregados grandes estables mostraron valores significativamente más altos en P5-SsSvBj ($40,40 \text{ g kg}^{-1}$) > P1-SsSVsB ($32,50 \text{ g kg}^{-1}$) = P2- SsSVsB ($32,70 \text{ g kg}^{-1}$) > P4-SDB ($20,27 \text{ g kg}^{-1}$). Asimismo, el carbono asociado a los macroagregados pequeños estables mostró el siguiente comportamiento P5-SsSvBj ($26,60 \text{ g kg}^{-1}$) = P2-SsSVsB ($25,07 \text{ g kg}^{-1}$) > P1- SsSVsB ($19,60 \text{ g kg}^{-1}$) > P4-SDB ($8,50 \text{ g kg}^{-1}$). En cuanto al carbono asociado a los microagregados no se encontraron diferencias significativas entre los valores para la P5-SsSvBj, P1-SsSVsB y P2- SsSVsB, siendo estos significativamente más altos que los valores para la P4-SDB.

En general, el contenido de carbono asociado a los macroagregados fue significativamente mayor en los macroagregados que en los microagregados. Esto es importante porque los macroagregados contribuyen en una mayor proporción al ciclo de nutrientes que los microagregados (Elliot, 1986). Asimismo, se reporta que el carbono asociado a los macroagregados es un carbono orgánico fresco o parcialmente descompuesto y fácil de descomponer mientras que el que está asociado a los microagregados está bien descompuesto y relativamente estable (Puget y Balesdent, 1995).

La relación entre estables macroagregados e inestables macroagregados EM/IM es 1,05 en P2- SsSVsB S y 0,95 en P5-SsSvBj, en estos dos ecosistemas existe un equilibrio en la formación y estabilización de macroagregados grandes. Contrariamente, en los suelos de P1- SsSVsB y P4-SDB esta relación es 0,77 y 0,72 respectivamente, lo que implica que la formación de macroagregados y su posterior estabilización se ve disminuida, lo cual está relacionado por múltiples factores tales como menor contenido de carbono orgánico, calcio y mayores contenidos de arena.

Carbono orgánico (CO) almacenado en la superficie del suelo

El contenido de CO es mayor en suelos localizados en P5-SsSvBj ($79,10 \text{ Mg ha}^{-1}$), respecto a los demás bosques. Asimismo, los contenidos de CO en P1-SsSVsB ($61,99 \text{ Mg ha}^{-1}$) y P2-SsSVsB ($59,34 \text{ Mg ha}^{-1}$) difieren significativamente de los contenidos de CO en P4-SDB ($26,73 \text{ Mg ha}^{-1}$). Estos resultados

señalan que en un periodo de 24 años, los suelos bajo P1-SsSVsB_a secuestran carbono a una tasa de 1,81 Mg ha⁻¹ año⁻¹, los suelos bajo P5-SsSVBj a una tasa de 1,83 Mg ha⁻¹ año⁻¹, mientras que los suelos bajo P2-SsSVsB lo hacen a una tasa de 1,14 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Los suelos bajo Selva Decidua de Banco presenta las menores tasas de secuestro de carbono, estando estos valores por debajo de 0,20 Mg ha⁻¹ año⁻¹. La baja capacidad que tienen estos suelos de secuestrar carbono se debe a la mayor cantidad de arena presente en este tipo de suelo. (Tabla 4). Los contenidos de carbono orgánico total en Mg ha⁻¹ en diferentes ecosistemas en Colombia (Moreno y Lara, 2003) presentan valores similares a los de Caparo (54-47 Mg ha⁻¹), excepto la Selva Decidua de Banco, que presenta valores muy bajos. En contraste, tenemos que los contenidos de carbono en suelos bajo Selva Nublada reportados para el bosque Experimental La Carbonera por García *et al.* (2009) son muy altos (104 Mg ha⁻¹). Estudios realizado por Lal *et al.*, (1997) reportaron que la tasa de secuestro de carbono en los primeros 20 cm fue de 7 a 12 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para los pastos *Clycine* y *Melinis*, y 1,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para *Panicum*.

Tabla 4. Contenido de carbono total (g kg⁻¹) asociado a los agregados del suelo. Valores expresados utilizando corrección de arena.

Tamaño de agregados (µm)	Tipo de Vegetación			
	SsSVsB *	SsSVsB	SDB	SsSVBj
	Agregados estables			
> 2000	32,50a	32,70 a	20,27 c	40,40 b
250 – 2000	19,60 a	25,07b	8,50c	26,60b
53 – 250	11,87 a	10,17 a	6,47b	12,20a
< 53	9,27a	9,23a	10,10a	10,20a

Números seguidos con diferente letra dentro de la misma fila denota diferencias significativa a P<0,05. *SsSVsB Selva Sub Siempreverde de Subbanco, SDB: Selva Decidua de Banco, SsSVBj: Selva Sub Siempreverde de Bajo.

Conclusiones

Los suelos localizados en P2-SsSVsb presentaron el mayor contenido de macroagregados grandes estables (41,36%), seguido por P1-SsSVsb (30,08%), y P5-SsSVb (35,29%). Los menores valores fueron encontrados en los suelos de la P4-SDb (11,27%). Los suelos de P2-SsSVsb fueron los únicos que pre-

sentaron mayor cantidad de macroagregados grandes estables que inestables, mientras que el resto presentó mayor cantidad de macroagregados inestables. El carbono asociado a los macroagregados grandes estables >2000 μm fue mayor de $32,50 \text{ g kg}^{-1}$ en todos los suelos estudiados, excepto los suelos de P4-SDB, lo cual está relacionado con la menor formación de macroagregados estables en estos suelos producto de su condición textural. La tasa de secuestro carbono es $1,81 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en suelos localizados en P1-SsSVsB, $1,83 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en suelos bajo P5-SsSVBj, $1,14 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en suelos bajo P2-SsSVsB. Los menores valores fueron encontrados en suelos localizados en P4-SDB con tasas de secuestro de carbono menores $0,13 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Marquez *et al.* (1999) indican que luego de un periodo de 10 años, suelos de plantaciones de poplar (*Populus xeuramericana*) secuestran car-

Tabla 5. Carbón orgánico en la superficie del suelo (COS) en diferentes tipos de vegetación en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo.

Tipo de Vegetación	COS (Mg ha^{-1})		Ganancia de C en el Suelo	
	*1982	2006	Mg ha^{-1}	$\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}$
P1-SsSVsB	18,46	61,99	43,53	1,88
P2-SsSVsB	31,98	59,34	27,36	1,14
P4-SDB	23,66	26,73	3,07	0,13
P5-SsSVBj	35,10	79,10	44,00	1,83

Donde: selva sub-siempre verde de subbanco (SsSVsB); selva decidua de banco (SDB); selva sub-siempre verde de bajo (SsSVBj). * Datos reportados por Franco (1982).

Tabla 6. Comparación del contenido de carbón orgánico en el suelo (COS) en la superficie del suelo bajo diferentes ecosistemas en estudios realizados en Colombia y Venezuela.

Tipo de vegetación	COS (Mg ha^{-1})
Datos reportados por Moreno y Lara (2003)	
Bosque primario Intervenido	66,22
Bosque Secundario	62,24
Rastrojo Bajo	62,24
Pastizal no manejado	63,75
Datos reportados por García et al. (2009)	
Selva Nublada Natural	104,12
Selva Nublada Intervenido	93,05

bono a una tasa de 2,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹, mientras que suelos bajo Switchgrass (*Panicum virgatum*) secuestran a una tasa de 1,8 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y en suelos bajo cultivo de soya (*Glicine max*) a una tasa de 0,40 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero al CDCHT de la Universidad de Los Andes a través del el proyecto FO-600-05-01-B.

Referencias bibliográficas

- CAMBARDELLA, C. y ELLIOTT, E. 1993a. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma* 56: 449.
- CAMBARDELLA, C. y ELLIOTT, E. 1993b. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1071-1076.
- CARRERO, O. 1996. Estudio Etnobotánico en la Reserva Forestal Caparo. Estado Barinas. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. **Cuaderno Comodato ULA-MARNR** 25. 75 p.
- CHEN, S., PAWLUK, S. y JUMA, N. 1998. Impact of variations in granular structures on carbon sequestration in two Alberta Mollisols. p. 225-243. *In* R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follett and B. A. Stewart (eds.) **Soil Processes and the Carbon Cycle**. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- CHRISTENSEN, B.T. 1996. Carbon in primary and secondary organomineral complex. p. 97-165. *In* M.R. Carter, and B. A. Stewart (eds.) **Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils**. CRC Press, Boca Raton, FL.
- ELLIOTT, E. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
- FONAIAP. 1990. **Manual de métodos y procedimientos de referencia**. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Análisis de suelos para diagnósticos de fertilidad. Maracay, Venezuela.
- FRANCO, W. 1982. Estudio y levantamiento de sitios con fines de manejo forestal en la unidad I de la Reserva Forestal de Caparo, estado Barinas. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela (Mimeog.)

- GARCÍA, M., MÁRQUEZ, C., LÓPEZ, R. y HERNANDEZ, R. 2009. Reservas orgánicas y minerales del suelo y su afectación por la deforestación de la selva nublada estado Mérida, Venezuela. **Revista Andina** 16: 28-38.
- JASTROW, J., T. BOUTTON y MILLER, R. 1996. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 60: 801-807.
- LAL, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂- enrichment. **Soil Tillage Research** 43: 81-107.
- MÁRQUEZ, C. O., GARCÍA, V. J., CAMBARDELLA C. A., SCHULTZ R. C. y ISENHART, T. M. 1999. Assessing soil quality in a riparian buffer by testing organic matter fractions in Central Iowa, USA. **Agroforestry System** 44: 133-140.
- MÁRQUEZ, C. O. 2001. **Dynamics of aggregates and carbon associated with aggregates under different riparian zones**. Ph.D. diss. Iowa State Univ., Ames.
- MÁRQUEZ, C. O., V. J. GARCÍA, C. A. CAMBARDELLA, R. C. SCHULTZ e ISENHART, T. M. 2004. Aggregate-size stability distribution and soil stability. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 68 (3): 725-735.
- MORENO, F. y LARA, F. 2003. **Variación del carbono orgánico del suelo en bosques primarios e intervenidos. Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. Contribuciones para la mitigación del cambio climático**. S.A Orrego, J.I. Del Valle, F.H. Moreno (Eds).
- PUGET, P. y BALESDENT, C. 1995. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. **European Journal of Soil Science** 46: 449-459.
- SEYBOLD, C. A., MAUSBACH, M. J., KARLEN, D. L. y ROGERS, H. H. 1997. Quantification of soil quality. **In Soil. Processes and the Carbon Cycle**. Eds. R. Lal, J. K. Kimble, R. F. Follett and B. A. Stewart, pp. 387-404.
- SIX, J., ELLIOTT E., PAUSTIAN K. y DORAN, J. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 62: 1367-1377.
- SOIL SURVEY STAFF. 2006. **Keys to soil taxonomy**. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Tenth Edition. 341 pp.
- TISDALL, J. y OADES, J. 1980. The effect of crop rotation on aggregation in a red brown earth. **Aust J. Soil. Res.** 18: 423-433.
- VINCENT, L. 1970. Estudio sobre la tipificación del bosque con fines de manejo en la Unidad Uno de la Reserva Forestal de Caparo. Tesis Mag. Sc., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida. Mecanografiado.