

Formas de carbono orgánico en suelos con diferentes usos en el departamento del Magdalena (Colombia)

Some forms of organic carbon in soil with different uses in the Department of Magdalena (Colombia)

José Rafael Vásquez-Polo^{1*}, Felipe Macías-Vázquez^{2†}, y Juan Carlos Menjivar-Flores^{3‡}

¹Profesor Auxiliar, Universidad del Magdalena, Colombia.

²Catedrático de Edafología, Universidad Santiago de Compostela, España.

³Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, AA. 237. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

*Autor para correspondencia: jose.quevas@yahoo.es; †felipe.macias.vazquez@usc.es; ‡jcmenjivarf@unal.edu.co

Rec.: 28.04.11 Acept.: 27.12.11

Resumen

Las fracciones de materia orgánica del suelo (MOS) lábiles y humificadas pueden ser afectadas por las prácticas de uso y manejo; sin embargo el impacto de estos cambios no se ha evaluado en suelos y ambientes tropicales. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los contenidos y algunas formas de carbono orgánico del suelo (COS) en cinco zonas de clima cálido tropical (0 - 1110 m.s.n.m.) del departamento del Magdalena (Colombia) y el efecto que sobre ellas han tenido las prácticas asociadas a suelos cultivados con café (*Coffea arabica*), banano (*Musa* sp.), palma africana (*Elaeis guineensis*) y sábila (*Aloe vera*), comparados con suelos de bosques naturales. No se encontraron diferencias ($P < 0.05$) tanto entre zonas como entre usos del suelo, se presentaron valores medios a bajos de MOS en las zonas de estudio y contenidos de carbono total (Ct) mayores en suelos de bosques que en suelos cultivados, así los suelos de bosques presentan una acumulación media de Ct de 42.4 mg/ha a 20 cm, frente a 33.8 mg/ha en los suelos cultivados, esto equivale a una pérdida media de Ct del 23% por efecto del manejo de los cultivos. En relación con el carbono extraíble con pirofosfato sódico altamente relacionado con las fracciones humificadas de la MOS (Cp) se observaron valores muy bajos en los suelos cultivados y casi nulos en suelos de bosques; sin embargo estos últimos presentan mayor contenido de formas de carbono no-oxidables o estables (Cnox) determinado por diferencia entre Ct - carbono oxidable (Cox). En el suelo cultivado con banano, el Ct corresponde en su totalidad a formas de Cox; mientras que en el suelo cultivado con palma africana las formas estables Cnox representaron 83% del carbono total.

Palabras clave: Carbono, ciclo biogeoquímico, Colombia, humus, Magdalena, nutrición de plantas, suelos agrícolas.

Abstract

Fractions of soil organic matter (SOM) labile and humified, can be affected by use and management practices, but the impact of these changes has not been evaluated in soils of tropical environments. The present study investigated the contents and some forms of soil organic carbon (SOC) in five warm tropical climate zones of the Department of Magdalena (Colombia), and the effect of the cropping practices on these forms of organic carbon in cultivated soils, associated with Coffee (*Coffea arabica*), Banana (*Musa* sp.), African palm (*Elaeis guineensis*), Aloe (*Aloe vera*) compared to natural forest soils. Sig-

nificant differences ($P < 0.05$) were not found between zones as much use soil as. Low average values of SOM in the study areas and higher contents of total carbon in forest soils than in cultivated soils were reported. Forest soils had an average carbon accumulation total of 42.4 mg/ha at 20 cm, compared to 33.8 mg/ha in the cultivated soils, this equates to an average loss of 23% total C by the effect of crop management in these soils, compared to C humified (C extracted with sodium pyrophosphate), values are observed very low in cultivated soils and almost zero in forest soils, but forest soils had a higher number of stable forms of C (C_{nox}). In the soil cultivated with bananas, Total Carbon corresponds to fully oxidized forms of C, however in the soil cultivated with African palm, C stable forms represented 83% of total carbon.

Key words: Agricultural soils, biogeochemical cycling, Carbon, Colombia, humus, Magdalena, plant nutrition.

Introducción

Stevenson (1994) divide la materia orgánica (MO) del suelo en dos fracciones ('pools') en función de su reactividad: materia activa o lábil y materia orgánica estable. La fracción activa incluye la materia orgánica macroscópica aun en la superficie del suelo (litter), la fracción ligera integrada por los restos de seres en diferentes estadios de descomposición, la biomasa microbiana y los compuestos orgánicos no-húmicos. Por su parte, la fracción estable es el humus o fracción coloidal compleja, que ha experimentado procesos de estabilización en diferentes grados. El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando 69.8% del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C, dependiendo de su uso y manejo (Lal, 1999; Lal, 2005). Se estima que desde la incorporación de nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo, se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Reicosky, 2002). El Protocolo de Kyoto demanda una comprensión de la estabilización del C en el suelo, porque este reservorio representa el compartimiento terrestre de mayor capacidad (Schlesinger, 1995, citado por Madinabeitia, 2007) y las actuaciones sobre él pueden conducir a que actúe como un sumidero o una fuente de C a la atmósfera; en este sentido Lal (2001) afirma que hasta 1970 las consecuencias de las técnicas agrícolas y silvícolas conducían a unas pérdidas de C hacia la atmósfera, superiores a las producidas en el mismo período por actividades industriales y el transporte; aun ahora, la agricultura representa el 25% de las emisiones, a pesar de las mejoras

introducidas con las llamadas agriculturas sostenibles y las buenas prácticas agrícolas.

Colombia emite el 0.25% de las emisiones globales de CO₂, el 45% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de la agricultura; el 9% de este total se produce por cambios en el uso de la tierra y forestales (IDEAM -Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006). El departamento del Magdalena no es ajeno a esta realidad, máxime si es considerado por excelencia de vocación agropecuaria, con grandes extensiones de tierras productivas dedicadas a estas actividades. En este departamento, 215.512 ha se encuentran dedicadas a la actividad agrícola, 79.734 ha a la actividad agroforestal, 1.219.769 ha a la actividad pecuaria, 233.815 ha a la actividad forestal y 416.941 ha a conservación (IGAC, 2002). En la región Caribe y en general en Colombia, los almacenamientos de C han sido poco evaluados, de acuerdo con las variaciones en el paisaje, lo que es de gran importancia porque este elemento depende de las condiciones específicas de cada sitio, y requiere métodos de muestreo que permitan representar cambios a nivel local y del paisaje para la identificación de patrones de distribución. Por otra parte, los agroecosistemas pueden ser manejados para reducir emisiones e incrementar depósitos de C, pero las opciones se deben escoger con base en el conocimiento de la magnitud de los almacenamientos edáficos de un bioma o región agroecológica, y la respuesta de los suelos a diferentes usos (Carvajal *et al.*, 2009).

En la región Caribe colombiana los contenidos de materia orgánica (M.O.) más bajos se presentan en los suelos de la Media y Alta Guajira, en buena parte Aridisoles, y

los más altos se encuentran en los Andisoles de los pisos climáticos fríos (Jaramillo *et al.*, 1994). De acuerdo con el IGAC (1988) citado por Jaramillo (2004), en la región Caribe el contenido de carbono orgánico está entre 0.5 y 1%. Los aspectos ambientales en esta región, asociados con las zonas de vida, generan limitados aportes de biomasa que repercuten en el contenido de M.O. de los suelos; en éste predominan los valores bajos (45% de los suelos) medianos (30% de los suelos), muy bajos (20% de los suelos); mientras que los suelos con porcentajes altos de carbón orgánico sólo incluyen 5% de la región. A pesar del bajo contenido de M.O. (65% de los suelos), el humus evoluciona en condiciones de alternancia estacional de precipitación y temperaturas altas (los regímenes ústico y arídico abarcan el 65%) (Malagón-Castro, 2003).

Por lo anterior, en este trabajo se inició la evaluación de las variaciones en los almacenamientos de C en distintas formas y usos de los suelos localizados en diferentes zonas altitudinales del departamento del Magda-

lena, partiendo de la hipótesis que el CO en los suelos de esta región es afectado por los cambios en dicho uso, sin dejar de lado las pérdidas de C en suelos dedicados tradicionalmente a la agricultura intensiva.

Materiales y métodos

La investigación se realizó al noroccidente del departamento del Magdalena, municipios de Santa Marta y zona bananera, incluyendo el flanco noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta ($11^{\circ} 36' 58'' - 8^{\circ} 56' 25''$ N, $73^{\circ} 32' 50'' - 74^{\circ} 56' 45''$ O), con una superficie de 23.188 km² (Figura 1).

Muestreo de suelos. Para el estudio se seleccionaron cinco zonas al noroccidente del departamento del Magdalena (Cuadro 1), dos en el costado occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, una en la granja de la Universidad del Magdalena y dos en la zona bananera. Estas se caracterizan por condiciones similares de clima, relieve y tipo de suelo. Teniendo en cuenta la inclusión de diferentes

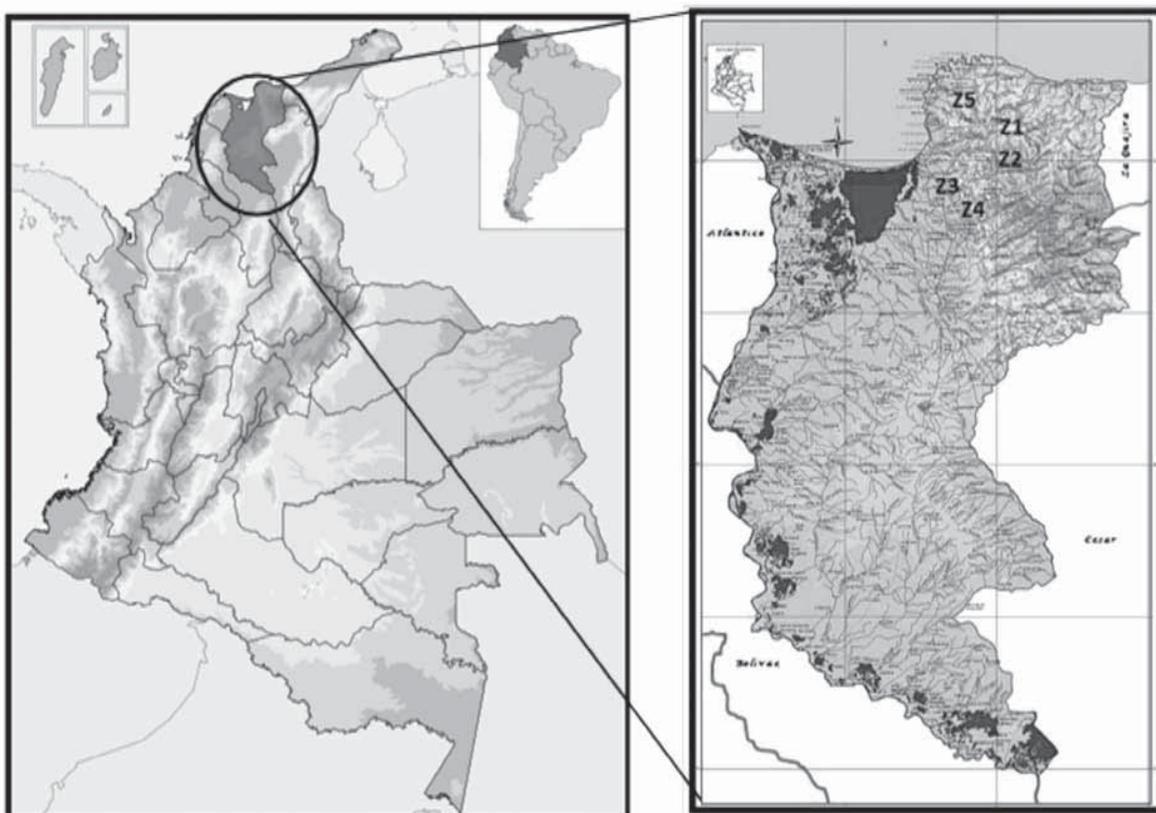


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo.
Fuente: IGAC, 2009.

Cuadro 1. Condiciones de uso y clasificación del clima en las zonas de estudio.

Zonas de muestreo	Muestras	Uso del suelo	Clima y altitud	Clasificación y régimen climático	Paisaje y material parental
1	1	Cultivo Café	Cálido húmedo; Altitud 803 m.s.n.m.; Precip. 1110 mm; Tem 24°C	Cambisol Háptico Typic Eutropepts Údico Isohipertérmico	Paisaje de montaña; ladera; mp (material parental): esquistos
	2	Pastos y Bosque Secundario	Cálido húmedo; Altitud 808 m.s.n.m.; Precip. 1110 mm; Tem 24°C	Cambisol Háptico Typic Eutropepts Údico Isohipertérmico	Paisaje de montaña; ladera; mp: esquistos
2	3	Cultivo Café	Cálido húmedo; Altitud 610 m.s.n.m.; Precip. 905 mm; Temp. 25°C	Phaeozem Háptico Hapludolls Údico Isohipertérmico	Typic Paisaje de montaña; ladera; mp: cuarzomonzonita
	4	Bosque Secundario	Cálido húmedo; Altitud 616 m.s.n.m.; Precip. 905 mm; Tem 25°C	Phaeozem Háptico Hapludolls Údico Isohipertérmico	Typic Paisaje de montaña; ladera; mp: cuarzomonzonita
3	5	Cultivo Palma Africana	Cálido seco; Altitud 25 m.s.n.m.; Precip. 910 mm; Tem 27°C	Phaeozem Háptico Haplustolls Ústico Isohipertérmico	Paisaje de planicie; mp: sedimentos coluvio- aluviales
	6	Bosque Secundario	Cálido seco; Altitud 25 m.s.n.m.; Precip. 910 mm; Tem 27°C	Phaeozem Háptico Haplustolls Ústico Isohipertérmico	Paisaje de planicie; mp: sedimentos coluvio- aluviales
4	7	Cultivo Banano	Cálido Seco; Altitud 20 msnm; Precip. 970mm; Tem 27 °C	Phaeozem Háptico Haplustolls Ústico Isohipertérmico	Paisaje de planicie; mp: sedimentos coluvio- aluviales
	8	Bosque Secundario	Cálido seco; Altitud 20 m.s.n.m.; Precip. 970 mm; Tem 27 °C	Phaeozem Háptico Haplustolls Ústico Isohipertérmico	Paisaje de planicie; mp: sedimentos coluvio- aluviales
5	9	Cultivo Sábila	Cálido seco; Altitud 10 m.s.n.m.; Precip. 600 mm; Tem 28.5 °C	Regosol Árico Typic Ústipsamments Ústico Isohipertérmico	Paisaje de planicie; mp: sedimentos aluviales
	10	Bosque Seco Tropical	Cálido seco; Altitud 10 m.s.n.m.; Precip. 600 mm; Tem 28.5 °C	Regosol Háptico Typic Ústipsamments Ústico Isohipertérmico	Paisaje de planicie; mp: sedimentos aluviales

usos del suelo, en cada zona se establecieron los sitios: suelos cultivados y suelos de bosque o en barbecho; dentro de cada uno se tomó una muestra de suelo compuesta por diez submuestras tomadas aleatoriamente en el campo (Brady y Weil, 2002; ICA, 1992). En total se tomaron diez muestras para las cinco zonas del estudio.

Análisis físicos. Se determinó el color de los suelos en seco y húmedo, mediante la Tabla Munsell. La densidad aparente (DA) se determinó por dos métodos: cilindro graduado (muestras 1, 2, 3, 4, 7 y 8), y terrón parafinado (muestras 5, 6, 9 y 10) (IGAC, 2006).

Análisis químicos. Se determinaron el pH en H₂O y en KCl 0.1N, respectivamente, en una relación 1:2.5 (IGAC, 2006). Los cationes de cambio Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ fueron extraídos con cloruro amónico y determinados por espectrofotometría de absorción atómica; el P por el método Olsen; el N y C total se determinaron mediante un analizador LECO (Modelo CHN-1000, LECO Corp., St Joseph, MI); el C oxidable (Cox) mediante la técnica Walkley y Black (1934), citado por IGAC (2006). La MOS fue calculada multiplicando el Cox por el factor 1.724, el C ligado a la fracción húmica del suelo (C pirofosfato, Cp) se determinó conforme a la metodología descrita por Bascomb (1968) citado por Velasco (2006); y la fracción C no-oxidable (Cnox) se calculó por la diferencia Ct - Cox.

Análisis de resultados. Para las variables relacionadas con las formas de C (Ct, Cox, Cp, Cnox) y la relación C/N se realizaron pruebas de Kruskal Wallis para muestras independientes con el programa Statgraphics Centurión XVI (2011).

Con base en los rangos de similaridad y para efectos de conocer el 'mapa' o configuración de las muestras en relación con los contenidos de Ct, en un número específico de dimensiones se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (MDS), siguiendo el procedimiento adoptado por la rutina del programa Primer V. 6.1.6 (Clarke y Warwick, 2001). El resto de variables físico-químicas se analizaron teniendo en cuenta estadísticos descriptivos. El estrés estimado para este análisis fue de 0.07, lo que si bien no alcanza una excelente representación (P

< 0.05), sí corresponde a una buena ordenación sin añadir información adicional de la estructura de grupos al ser examinados con tres o más dimensiones.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se incluyen los resultados de las determinaciones físicas y químicas de los suelos en el estudio. Se presentó un rango de color entre 10YR 4/2 y 10 YR 5/4, correspondiente a rojo-amarillentos oscuros, típicos de horizontes superficiales influenciados por la presencia de pequeñas cantidades de M.O. Los valores de pH se encuentran en los rangos de ligeramente ácidos a moderadamente alcalinos; en las zonas 1 y 2 se presentaron los valores más bajos de pH, marcados por la diferencia de altitud, pluviosidad y topografía del terreno, lo que concuerda con lo descrito por Rubiano *et ál.* (1995) citado por IGAC (1995) y el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento del Magdalena (IGAC, 2009) para los suelos de montaña en clima cálido, ubicados en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. La zona 5 presentó condiciones de moderada alcalinidad, en la cual es evidente que la evapotranspiración excede notablemente la pluviosidad media anual (Vásquez y Baena, 2009). Las zonas 3 y 4, correspondientes a suelos desarrollados a partir de depósitos aluviales formados por los ríos que descienden de la Sierra Nevada y tienen contenidos de Ca altos, C orgánico bajo en el primer horizonte, y fertilidad natural alta. Según el IGAC (IGAC, 2009) las propiedades físicas de los suelos de estas zonas evidencian procesos de compactación en muchas áreas con valores de DA que alcanzan 1.7 g/cm³, situación que no se reflejó en los suelos del presente estudio.

Según los criterios del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 1992) en general todas las zonas presentan altos contenidos de Ca²⁺, siendo este el elemento dominante en el complejo de cambio; los contenidos de Mg²⁺ son bajos en la zona 2, medios en la zona 1 y altos en las demás zonas. Con excepción de la zona 5, que presenta altos contenidos de K⁺, el resto presenta valores medios. En general, los valores de Na⁺ son bajos y los valores de CICE moderados, (10 - 20 Cmol(+)/kg). El contenido

Cuadro 2. Propiedades de los suelos por zonas de estudio.

Propiedades	Suelos cultivados					Suelos de bosque				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	1	3	5	7	9	2	4	6	8	10
Color S ¹	10YR 4/2	10YR 5/4	10YR 5/4	10YR 5/4	10YR 5/2	10YR 5/3	10YR 5/2	10YR 5/2	10YR 4/2	10YR 5/3
Color H ¹	10YR 2/3	10YR 3/3	10YR 3/3	10YR 3/2	10YR 2/3	10YR 3/3	10YR 3/2	10YR 3/2	10YR 2/3	10YR 3/3
DA (gr/cm ³)	1.20	1.3	1.4	1.3	1.5	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3
pH H ₂ O	6.10	5.9	7.2	6.7	8.3	5.9	5.8	6.2	6.9	8.2
pH KCl	5.40	4.8	5.7	5.3	7.4	4.9	4.7	5.2	6.0	7.4
Ca ⁺² (cmol+)/kg	14.0	7.1	7.4	10.7	20.2	8.0	8.5	8.4	11.9	23.9
Mg ⁺² (cmol+)/kg	1.60	1.2	3.0	3.9	4.0	1.7	1.2	2.3	4.0	6.8
Na ⁺ (cmol+)/kg	0.10	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
K ⁺ (cmol+)/kg	0.20	0.2	0.2	0.3	1.2	0.2	0.2	0.4	0.3	1.7
CICE (cmol+)/kg	15.90	8.6	10.8	15.0	25.8	10.0	10.0	11.3	16.4	32.7
% Sat. Ca	88.30	83.0	68.8	71.2	78.4	80.0	85.4	74.5	72.8	73.2
% Sat. Mg	10.20	14.0	28.0	25.9	15.5	17.3	11.6	20.4	24.3	20.8
% Sat. K	1.00	1.8	1.9	1.9	4.8	1.9	1.9	3.1	1.7	5.1
% Sat. Na	0.50	1.2	1.3	0.9	1.3	0.8	1.1	2.0	1.2	0.9
P (Olsen) ppm	14.00	4	12	20	34	4	6	21	8	15
% N.Total	0.100	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2

¹S= seco; H= húmedo

de P es bajo en las zonas de bosques y moderado en las zonas de cultivo, probablemente debido a la alta fijación de este elemento que se presenta en muchos de los suelos de clima cálido seco del departamento del Magdalena. El N total presenta contenidos medios, tanto para las zonas de cultivos como para las zonas de bosque, a pesar de las altas dosis de fertilizantes nitrogenados que se aplican en la región a los cultivos de café, banano y palma y en consideración a la baja eficiencia de los mismos.

No se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre zonas ni entre usos del suelo; no obstante al evaluar la distancia basada en la similaridad de las muestras (92%), se destaca cómo, a pesar de no existir diferencias entre usos de suelos para los contenidos de Ct, sí se observa una clara tendencia en el gráfico de similaridad (Figura 2) a la agrupación de

los suelos de cultivo, marcada por valores más bajos de Ct en relación con los suelos de bosques, con excepción del suelo de cultivo de la zona 1 con un valor relativamente alto de Ct, debido fundamentalmente a las condiciones climáticas más favorables para la acumulación de CO en el suelo; esto es, mayor altitud sobre el nivel del mar, mayor precipitación y menores temperaturas.

En términos generales, los contenidos de Ct son mayores en los suelos de bosques que en los cultivados para todas las zonas (Figura 3). Estos resultados corroboran algunos estudios en Colombia tales como los de Moreno y Lara (2003) quienes al trabajar en Inceptisoles y Entisoles del departamento de Antioquia, encontraron que el CO en suelos de bosques primarios fue superior al de suelos de áreas intervenidas y de bosques secundarios; no obstante en los estudios realizados por Car-

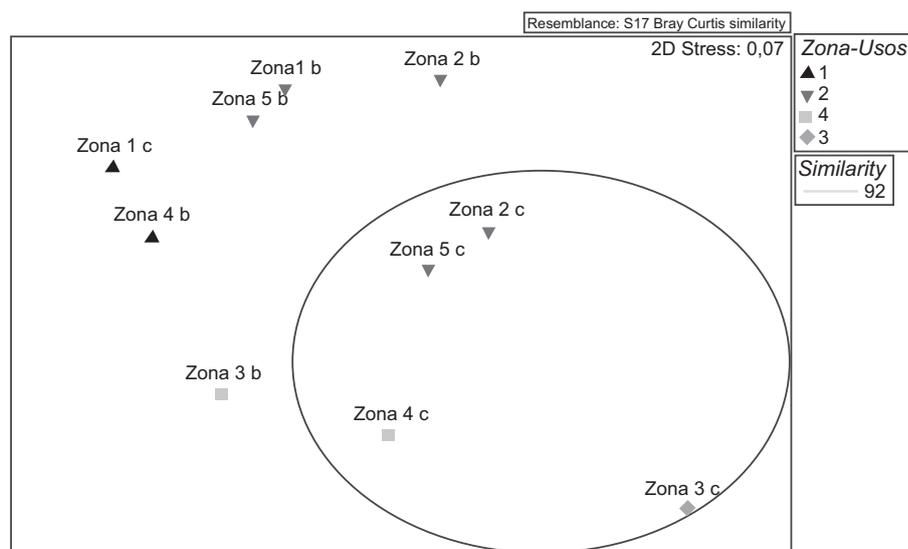


Figura 2. Ordenamiento del escalonamiento multidimensional no métrico (MDS) de las zonas y usos del suelo (zonas: 1, 2, 3, 4 y 5 - usos: c = cultivo, b = bosques), basados en la similitud de Bray Curtis (estrés = 0.07) (Clarke y Warwick, 2001).

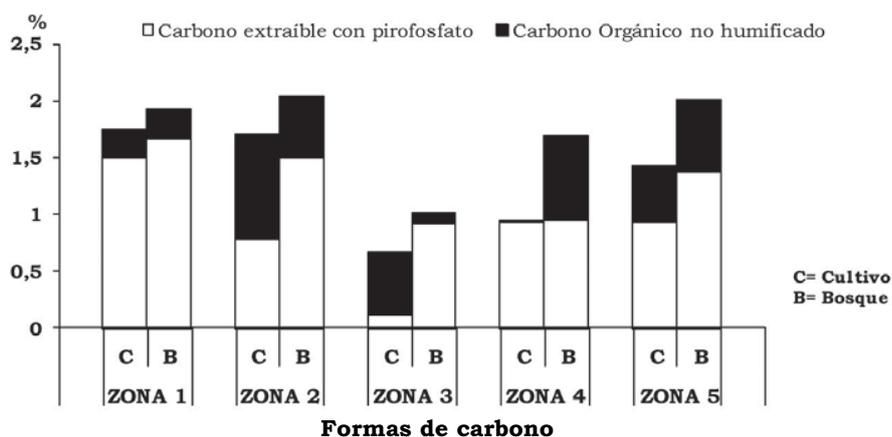


Figura 3. Distribución del carbono extraíble con pirofosfato y carbono orgánico no-humificado de la materia orgánica del suelo en las zonas del estudio.

vajal *et ál.* (2009) en suelos de diferentes usos en paisajes andinos colombianos se observó una tendencia diferente ya que para muchos perfiles (0 - 30cm), los suelos presentaron ganancias en el almacenamiento de C cuando las coberturas vegetales naturales (relictos de selva) se transformaron en cultivos, principalmente café y plátano; mientras que se observaron reducciones considerables cuando los cultivos se convirtieron en pasturas.

Con excepción de la zona 1, que presentó valores medios de Cox, cada zona reveló bajos contenidos de esta forma de C (Cuadro

3). Es importante anotar que en la zona 4 el contenido de Cox representó casi todo el Ct en el suelo de cultivo, esto posiblemente se debe a la composición de los residuos, al gran retorno de restos vegetales al suelo por el manejo agronómico asociado con cultivo de banano y a las condiciones climáticas de la zona. Los valores de Cp son muy bajos y a veces nulos (Figura 4), los valores más bajos ocurren en suelos de bosque; no obstante presentan valores mayores de Cnox con posibles formas estables inherentes a los mecanismos de estabilización de C en el suelo. La relación

Cuadro 3. Porcentajes de carbono y relación C/N de los suelos en el estudio.

Zona	Suelos	Uso	C. Total	C. Oxi	C. Piro	M.O	C. nox	C/N
1	1	Café	1.75	1.49	0.12	2.6	0.26	12.6
	2	Bosque	1.92	1.67	0.12	2.9	0.26	11.3
2	3	Café	1.70	0.77	0.06	1.3	0.93	10.6
	4	Bosque	2.03	1.49	0.37	2.6	0.54	10.5
3	5	Palma	0.67	0.11	0.00	0.2	0.55	10.1
	6	Bosque	1.01	0.91	0.00	1.6	0.10	11.8
4	7	Banano	0.94	0.93	0.00	1.6	0.01	10.7
	8	Bosque	1.68	0.94	0.12	1.6	0.74	12.4
5	9	Sábila	1.42	0.92	0.12	1.6	0.50	10.8
	10	Bosque	2.01	1.37	0.00	2.4	0.64	11.7

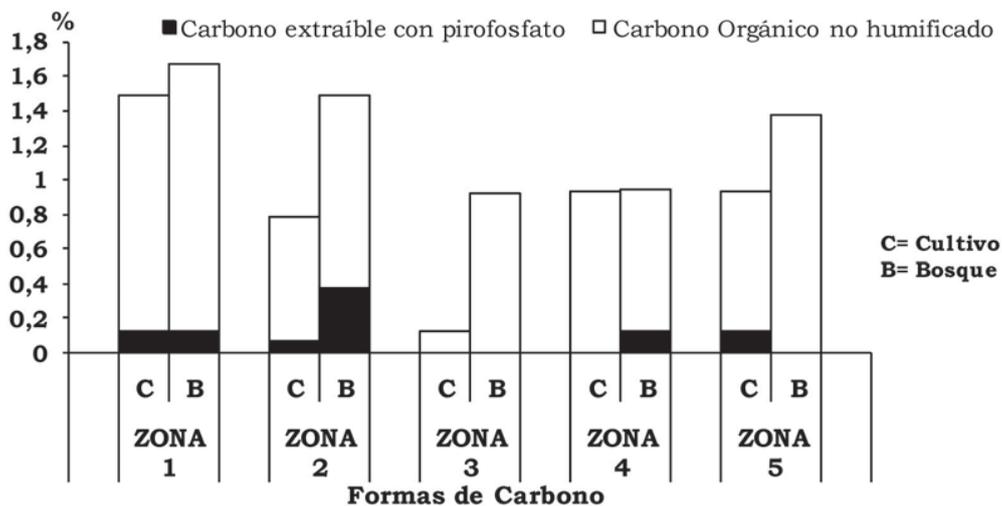


Figura 4. Distribución de las formas de Carbono Orgánico de la materia orgánica del suelo en las zonas del estudio.

C/N (Cuadro 3) presenta valores entre 10.1 y 12.6, lo que favorece los procesos de mineralización.

La relación de las diferentes formas de C con respecto a los contenidos de Ct (Cuadro 4) muestran cómo el mayor porcentaje de Ct está constituido por las formas lábiles, a excepción de las áreas de cultivo en las zonas 2 y 3, donde predominan formas recalcitrantes, estables, que representaron 83% del Ct en el suelo con cultivo de palma africana, situación que debe ser validada con réplicas de suelos de este cultivo en la misma zona, con el objeto de descartar la influencia de un manejo particular y ocasional del sitio. El

Cp se relaciona en diferente intensidad con cada una de las fracciones de C estudiadas (Cuadro 4). En general, la relación Cox/Ct es mayor en suelos de bosque que en cultivados, siendo la diferencia entre ambos en la zona 3 (73%), y menor en la zona 5 con 3% de diferencia. Solo en la zona 4 la relación Cox/Ct es mayor para el suelo cultivado con banano, con una diferencia de 43% entre el suelo de bosque y suelo de cultivo.

En el Cuadro 5 se presenta la acumulación de las diferentes formas de C a 20 cm de profundidad en el suelo (Malagón, 2001) la cual se estimó a partir de la concentración de C y la DA del suelo. La acumulación

Cuadro 4. Relación entre contenidos de las diferentes formas de carbono en los suelos del estudio.

Zona	Suelo	Uso	Cox/Ct	Cnox/Ct	Cp/Ct	Cp/Cox
1	1	Café	0.85	0.15	0.07	0.08
	2	Bosque	0.87	0.13	0.06	0.07
2	3	Cultivo	0.45	0.55	0.04	0.08
	4	Bosque	0.73	0.27	0.18	0.25
3	5	Palma	0.17	0.83	0.00	0.00
	6	Bosque	0.90	0.10	0.00	0.00
4	7	Banano	0.99	0.01	0.00	0.00
	8	Bosque	0.56	0.44	0.07	0.13
5	9	Sábila	0.65	0.35	0.08	0.13
	10	Bosque	0.68	0.32	0.00	0.00

Cuadro 5. Acumulación de C en los primeros 20 cm de profundidad mg/ha.

Zona	Suelo	Uso	Ct	Cox	Cp	Cnox
1	1	Café	41.2	35.1	2.8	6.1
	2	Bosque	43.1	37.3	2.7	5.8
2	3	Café	43.6	19.8	1.5	23.8
	4	Bosque	49.6	36.3	9.0	13.2
3	5	Palma	18.8	3.2	0.0	15.6
	6	Bosque	25.7	23.2	0.0	2.5
4	7	Banano	24.0	23.8	0.0	0.2
	8	Bosque	40.7	22.8	2.9	17.9
5	9	Sábila	41.2	26.8	3.5	14.4
	10	Bosque	53.0	36.2	0.0	16.9

promedio de las formas de C estudiadas fue mayor en los suelos de bosques que en los de cultivos, excepto la forma de Cnox. En el mismo Cuadro se observa que en los sitios de bosques en la zona 5 (10 m.s.n.m. y 29°C) los valores de Cox son semejantes a los de las zonas 1 y 2 (600 y 800 m.s.n.m. y 24 y 25 °C, respectivamente) debido posiblemente a la condición de bosque secundario en estas últimas zonas vs. el bosque primario de la zona 5, más los efectos de la erosión debido a las condiciones topográficas en las zonas 1 y 2. En los suelos de cultivos se presentaron valores muy bajos o nulos de Cp, lo que evidencia poca evolución de la MO hacia formas humificadas, posiblemente por el efecto de las prácticas agronómicas en cada uno de

ellos, lo que contrasta con los valores de Cnox influenciado, quizás, por una baja actividad microbiana.

El análisis al interior de cada zona permitió observar los porcentajes de pérdidas de Ct en relación con el uso del suelo, partiendo del supuesto de que la condición original de Ct es la determinada por los suelos de bosques, además se observa cómo las mayores pérdidas de Ct (41%) ocurren en los suelos de la zona 4 cultivados con banano, donde prácticamente la totalidad del Ct obedece a la forma de Cox descrita anteriormente. Las pérdidas de Ct (%) en las demás zonas fueron de 4, 11, 26 y 23 para las zonas 1, 2, 3, y 5, respectivamente. Calvo de Anta (1992), citado por Macías *et ál.* (2004) en suelos de la pro-

vincia de la Coruña (España) encontraron que los suelos cultivados presentan pérdidas de C entre el 26 y el 49% en relación con los suelos de bosque. Bayer (2002) en el sur de Brasil en suelos Hapludox encontró que el CO lábil y el humificado son más estables en sistemas de siembra ligera y consecuentemente menos vulnerables a la mineralización.

Conclusiones

- El uso y manejo de suelos cultivados comparados con suelos de bosques en cada zona estudiada del piso térmico cálido del departamento del Magdalena, influyen en los contenidos de las diferentes formas de C.
- Los contenidos de C total no presentaron diferencias estadísticamente significativas por efecto de la altura sobre el nivel del mar para las zonas estudiadas, en este caso los valores oscilaron entre 0.7 y 2%, siendo menores en suelos dedicados a cultivo y superiores en suelos de bosques.
- La fracción de Cox representa más del 50% del C total en todas las zonas del estudio, mientras que las formas de Cnox no presentan diferencias entre los suelos cultivados y de bosques.
- La fracción humificada (extraíble con pirofosfato) no es representativa del C orgánico en las zonas del estudio, sus valores no superan 13% del C oxidable en suelos de cultivo y 25% en suelos de bosques.

Agradecimientos

Al Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Santiago de Compostela (España) por su apoyo técnico y humano. A la Universidad del Magdalena por los recursos aportados a través del fondo para la investigación (Fonciencias).

Referencias

Bayer, C. 2002. Carbono stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. *Santa María, Ciencia Rural* 32(3):401 - 406.

Brady, N. C.; y Weil, R. R. 2002. *The nature and properties of soils*. 13th Ed. New Jersey: Prentice-Hall. p. 720 - 725.

Carvajal, A. F.; Feijoo, A.; Quintero, H.; y Rondón, M. A. 2009. Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. *Rev. Ci. Suelo Nutr.* 9(3):222 - 235.

Clarke, K. R.; y Warwick, R. M. 2001. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 216:265 - 278.

FAO. 2001. *El ciclo global del Carbono*. Memorias divulgativas. 52 p.

IDEAM (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). 2006. *Inventario nacional de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero*. Colombia. 29 p.

ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1992. *Manual del laboratorio de suelos*. 218 p.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1995. *Estudio general de suelos de la zona quebrada de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia*. 385 p.

IGAC-Corpoica. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2002. *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia*. Bogotá. Colombia. 87 p.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. 2006. p. 720 - 725.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2009. *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento del Magdalena*. 496p.

Jaramillo, D. F. 2004. *El recurso suelo y la competitividad del sector agrario colombiano*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 26 p.

Jaramillo, D. F.; Parra, L. N. y González, L. H. 1994. *El recurso suelo en Colombia: distribución y evaluación*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 88 p.

Lal, R. 1999. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Prog. Environ. Sci.* 1:307 - 326.

Lal, R. (ed.). 2001. *Soil C sequestration and the greenhouse effect*. SSSA Special Pub. #57, Madison, WI. 236 p.

Lal, R. 2005. Los suelos y el cambio climático. En: *Protección del suelo y el desarrollo sostenible: Seminario Europeo Soria, 15-17 de mayo de 2002*. Callaba, A.; Iribarren, I.; y Fdez.-Canteli, P. (Eds.). Madrid. Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio Ambiente No. 6. p. 163-177.

Macías, F.; Calvo de Anta, R.; Rodríguez-Lado, L.; Verde, R.; Pena-Pérez, X.; y Camps-Arbestain, M. 2004. El sumidero de carbono de los suelos de Galicia (España). *Edafología* 11 (3):341 - 376.

Madinabeitia, Z. 2007. Oxidabilidad de la materia orgánica del suelo con permanganato potásico.

- Aplicación al fraccionamiento de las formas de carbono orgánico. Trabajo de Investigación Tutelado. USC. 115p.
- Malagón-Castro, D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos -Énfasis en génesis y aspectos ambientales-. Rev. Acad. Colomb. Ci. 27(104):319 - 341.
- Malagón, D. 2001. Los Suelos de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá D.C., Colombia. 21 p.
- Moreno, F. H.; y Lara, W. 2003. Variación de carbono orgánico del suelo de bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. S.A. 50 p.
- Reicosky, D. C. 2002. Tillage and gas exchange. En: R. Lal (ed.). Encyclopedia of soil science. Boca Raton, Fla.: Taylor & Francis. p. 1333-1335.
- Statgraphics Centurión XVI. 2011. Data analysis and Statistical Software.
- Stevenson, F. J. 1994. Humus chemistry. John Wiley & Sons. Nueva York. 2nd ed. 496 p.
- Vásquez, J. R.; y Baena, D. 2009. Caracterización de la variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena. 103 p.
- Velasco, M. 2006. Formas de carbono en suelos de ambientes subtropicales de Brasil y Argentina. Trabajo de Investigación Tutelado. USC. 120 p.