

Dinámica espacio-tiempo del carbono y su relación con variables químicas del suelo en los ecosistemas bosque y caña de azúcar

Space-time dynamic of soil carbon and chemical variables in forest and sugar cane ecosystems

González Hidalgo, M¹, Pablos R. P¹., Alarcón, P. S.A²., Hernández S. M. de la L.², González C. J.C.², Ramirez, H. T.³

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera CUJAE km 2½, Boyeros, Ciudad de la Habana; CP 1939; Tele/Fax 53(7)2602571. E-mail: maribel@inica.azcuba.cu ✉ Autor para correspondencia.

² Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Campus Tuxpan. Universidad Veracruzana. ³ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Campus Córdoba-Orizaba. Universidad Veracruzana.

Recibido: 8/06/2014

Aceptado: 29/11/2014

ABSTRACT

The dynamic space-time of the carbon (C) and chemical variables (organic matter and soil pH, available phosphorus, bulk density and total N) were studied in a *Vertic Haplustepts* soil, planted with sugar cane and forest, for 21 years, at three depths; with an annual air temperature average of 25°C and annual average rainfall of 1200 mm. The forest has more than 70 years established and sugar cane planted on it for more than 25. Organic C behavior was different in both land uses, demonstrating a gradual decreasing in the first 20 cm of forest soil during the period studied. In the case of crop, there weren't significant variations of the C in any of the studied depths with the course of time. The decrease of C with depth was evident in both cases. C content was higher in the soil with forest from that planted with sugar cane. In both ecosystems, there were found a direct relationship of total N with the time. The soil forest, product of indiscriminate clearing, lost 1,52 % of C in 21 years and the decreasing in time in the first ecosystem was adjusted to a linear regression; on the other hand, the soil planted with sugar cane did not suffer significant changes throughout this period. Soil organic matter stratification relationship (ReMOS) between the depths of 0-20 and 20-40 cm, was superior on the soil with forest from that planted with sugar cane crop.

Key words: stratification, monoculture, phosphorus, nitrogen,

RESUMEN

Se estudió la dinámica espacio-tiempo del carbono (C) y variables químicas (materia orgánica y reacción del suelo, fósforo asimilable, densidad aparente y N total) de un suelo *Vertic Haplustepts*, plantado con caña de azúcar y bosque, durante 21 años en tres profundidades del perfil. El bosque con más de 70 años de establecido y el área con caña de azúcar más de 25. El comportamiento del C

orgánico del suelo fue dependiente de los usos de la tierra comparados, manifestando un decrecimiento paulatino en los primeros 20 cm del suelo con bosque, en la medida en que avanzó el tiempo. Para el caso de la caña de azúcar, no se observaron variaciones significativas del C con el decurso del tiempo en ninguna de las profundidades estudiadas. En ambos casos la disminución del C con la profundidad fue evidente. El contenido de C fue superior en el suelo con bosque respecto al suelo con caña de azúcar. En ambos ecosistemas se encontró relación directa con el N total en el tiempo. El suelo con bosque, producto de la tala indiscriminada, perdió 1,52% de C en 21 años y su decrecimiento en el tiempo en el primer ecosistema se ajustó a una regresión lineal, por el contrario, el suelo con caña de azúcar no sufrió variaciones significativas en todo el periodo. La relación de estratificación (ReMOS) entre las profundidades 0 a 20 y 20 a 40 cm, fue superior en el suelo con bosque con respecto al suelo con caña de azúcar.

Palabras claves: estratificación, caña de azúcar, monocultivo, bosque tropical, carbono.

INTRODUCCION

La materia orgánica del suelo (MOS) es un determinante importante de fertilidad (Barančíkova y col., 2010). Los suelos tropicales por naturaleza, se caracterizan por la rápida evolución de la MOS y, si a ello se suma el efecto del monocultivo, la degradación consecuente del suelo aparece más pronto, con peligro de pérdida notable de sus cualidades productivas.

El C es componente fundamental de la MOS, involucrado en sus propiedades químicas, físicas y biológicas, coadyuva de manera efectiva a mantener la capacidad del suelo para sostener a largo plazo la calidad de los cultivos. En los países tropicales la MOS cobra mayor importancia por su participación en las propiedades coloidales de los suelos, relacionadas con el crecimiento de las plantas, siendo su contenido de importancia sustancial para mantener la producción agrícola (Urquiaga y col., 2012).

En los últimos años, se ha profundizado en el estudio del C del suelo al nivel mundial, por una parte por su relación directa con emisiones nocivas de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera y, por otra parte, por su secuestro en la biomasa o en el suelo (Ponce-Hernandez, 2004).

Los suelos son el reservorio de C mayor de la superficie terrestre, contienen alrededor de tres veces el que se encuentra en la vegetación (1.500 Pg de C) (Galdos y col., 2010). Los suelos agrícolas almacenan alrededor de 170 Pg de C en el primer metro de profundidad (Moraes Sá y col., 2014) y pueden constituir un reservorio o una fuente de C, en dependencia del manejo que reciban. Así, prácticas como labranza-cero, enmiendas orgánicas, prácticas de conservación y mejoras en la rotación de cultivos y en las recomendaciones de fertilizantes, pueden contribuir a aumentar las reservas de C en el suelo (Ogle y col., 2005; Cerri y col., 2010; Piva y col., 2012). Por otra parte, el monocultivo, práctica agrícola frecuente en Cuba y en muchos otros países cañeros, implica degradación paulatina de las propiedades edáficas (Neto y col., 2010; Fahey y col., 2012), lo que unido a un mal manejo, puede dar lugar a consecuencias catastróficas en el suelo y en el medio ambiente (Cabrera y Zuaznábar, 2010).

La caña de azúcar es un cultivo promisorio en cuanto a su producción de biomasa y en consecuencia, es capaz de capturar gran cantidad de C (102,3 a 108,93 tha^{-1} en un periodo de 7 años), comparable con la que fijan los bosques tropicales (112.6

tha⁻¹) en las condiciones de Cuba (Ponce-Hernandez, 2004), lo que significa que el cultivo puede capturar cantidades de C en el periodo mencionado, similares a las que fijan los bosques, razón por la que se debe tratar que éste manifieste su potencial productivo a través de un manejo agronómico adecuado (agua, nutrientes, cultivo), que permita la máxima eficiencia de transformación de la energía luminosa en fitomasa.

La rápida degradación del suelo al nivel mundial, sobre todo en los países tropicales en vías de desarrollo, despertó en la década de los años 90 del pasado siglo XX la preocupación por la calidad del suelo y la sostenibilidad de la explotación agrícola^A (Digonzelli y col., 2011). Desde entonces, varios conceptos de calidad del suelo fueron propuestos, siendo el mejor de ellos el que define la calidad del suelo como la capacidad para mantener la productividad biológica, la calidad ambiental y la vida vegetal y animal saludables sobre la faz de la tierra (Briedis y col., 2011). Por tanto, la calidad del suelo es un concepto basado en la premisa de que el manejo puede deteriorar, estabilizar o mejorar las funciones del ecosistema suelo.

Para el monitoreo del suelo, de manera que puedan sugerirse modificaciones en los sistemas de manejo, a modo de evitar su degradación, es necesario definir atributos del suelo y del ambiente, sensibles al manejo y de fácil determinación. En este contexto, se ha propuesto un conjunto mínimo de variables químicas, físicas y biológicas, que acompañadas, a través del tiempo, fueran capaces de detectar las alteraciones en la calidad del suelo en función del manejo (Briedis y col., 2011). El C orgánico y la

MOS están entre esas variables y, más recientemente, la razón de estratificación de la MOS con la profundidad del perfil, expresada como relación, pudiera indicar la calidad del suelo bajo diferentes condiciones de manejo (Franzlubbers y col., 2002). Basado en este planteamiento, algunos autores^B, utilizaron la razón entre el contenido de la MOS de la capa superficial y la subsiguiente, como indicador más confiable de la calidad del suelo que el C o la MOS por si solos. La estratificación ocurre porque los nutrientes aplicados como fertilizantes o desechos animales, generalmente se emiten sobre la superficie del suelo y también porque los residuos de cosecha que son devueltos al suelo, se descomponen poco al mezclarse con el suelo (Melero y col., 2012).

Los ecosistemas forestales contienen más C por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos (que contienen cerca de 40% del C total), son de importancia primordial cuando se considera el manejo de los bosques (Urquiaga y col., 2012). Por lo general, en los bosques naturales el C del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es afectado (Urquiaga y col., 2012). Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos y que muy a menudo parte del C orgánico se pierde, dando lugar a una considerable emisión de CO₂ (Galdós y col., 2009). Por tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de C. Además, la deforestación está acompañada

^A Coutinho, M. P. Estoques de carbono e emissão de N₂O no sistema solo-planta em região do Mata atlântica [Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias]. Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009, 85 p.

^B Uranga, M. Soil Phosphorus Stratification and the Phosphorus Nutrition of Soybean. [Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias]. Colegio de Agricultura, Universidad de Kentucky, Estados Unidos de América, 2002. 105 p.

con frecuencia de la pérdida de nutrientes esenciales a través de la erosión y por la compactación del suelo (Rodrigo y col., 2009; Cerri y col., 2010).

La pérdida de material húmico de los suelos cultivados es superior a la tasa de formación de humus de suelos no perturbados por lo que el suelo, bajo condiciones de cultivos convencionales, es una fuente de CO₂ para la atmósfera (Gifford, 1994; Orellana-Rivadeneira y col., 2012).

Investigaciones realizadas donde se midieron la contribución de la materia orgánica y algunos nutrientes por el sistema radical de la caña de azúcar y pastos cultivados, se encontró, que éste hace un aporte fundamental de MOS, capaz de alcanzar 0,034 t ha⁻¹ de N y 0,015 t ha⁻¹ de P (Hernández y López, 1995), lo que no compensa la exportación de nutrientes con la cosecha, especialmente de N (cuyo índice de extracción es aproximadamente de 1,5 a 1,7 kg t⁻¹ de tallo, solamente restituido con la fertilización mineral).

La declinación del rendimiento azucarero está muy asociada a la disminución del C del suelo reflejado por el comportamiento de fertilidad de los suelos, siendo necesario buscar de manera urgente, soluciones de manejo que conlleven a su incremento, para el rescate de las cualidades productivas^C. El objetivo del trabajo fue comparar el tamaño, distribución y cuantificación de las reservas de C del suelo plantado con caña de azúcar en relación con el suelo de bosque durante un periodo de 21 años, así como su relación con algunas variables químicas del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló durante 21 años (1989 a 2009, ambos inclusive), en dos ecosistemas diferentes: caña de azúcar y su correspondiente bosque; sobre suelo Vertic Haplustepts según World Reference Base for Soil Resources^D; con una temperatura media anual de 25 grados Celsius y una precipitación media anual de 1200 mm; en la localidad Candonga del municipio Palma Soriano en la provincia Santiago de Cuba (20°16'20" Norte y 76°02'30" Este. Ambos ecosistemas estaban establecidos al comenzar el estudio.

El ecosistema boscoso semialterado por la tala indiscriminada, cuenta con más de 70 años de edad y está representado en su mayoría por *Hibiscus elatus* Sw (majagua), 8%; *Samanea saman* (algarrobo), 22%; *Eucalyptus spp* (eucalipto), 24%; *Coffea arabica* Lin (café), 12%; *Mangifera indica* Lin (mango), 10%; *Psidium guajava* L (guayaba), 6%, además de otras especies en menor cuantía (8 %) como *Persea americana* Mill (aguacate), *Pouteria sapota* (zapote), *Citrus limón L. Burm* (limón francés), *Citrus sinensis L.* (naranja dulce), *Citrus aurantium L.* (naranja agrio) y *Citrus reticulata* (mandarina).

El ecosistema con caña de azúcar, con más de 25 años, siempre con cosecha mecanizada y un rendimiento medio de alrededor de 70 t ha⁻¹, pertenece al Complejo Agroindustrial «Dos Ríos». Recibió la fertilización mineral acorde con las necesidades del cultivo y en sus cuatro ciclos

^C Rodríguez, O, Y. Dinámica de la fertilidad química de un Vertisuelo bajo diferentes condiciones de manejo del cultivo de la caña de azúcar. [Tesis presentada en opción al grado de Máster en Ciencias]. Universidad Agraria de la Habana, La Habana, Cuba. 2013. 76 p.

^D IUSS Working Group WRB; World Reference Base for Soil Resources, 2nd edition, World Soil Resources Reports No. 103, FAO, Rome. Italy, 2006.

de cosechas se utilizaron los cultivares Ja60-5 y C87-51.

Los muestreos se realizaron anualmente, en los meses de mayo a julio, a las profundidades 0 a 20; 20 a 40 y 40 a 60 cm. Para la toma de muestras se utilizó la metodología publicada^E, la que establece que el muestreo debe hacerse en forma de triángulo con barrena agroquímica. Se escogieron nueve puntos representativos de las áreas de estudio, homogeneizando las muestras de cada profundidad para formar una muestra compuesta y luego separarla por el método del cuarteo, obteniendo un total de 18 muestras por año.

Las muestras tomadas fueron secadas al aire, molidas y pasadas por tamiz de malla de 1 mm, para su posterior procesamiento. Las determinaciones y los métodos analíticos se realizaron según las «Normas Metodológicas del Departamento de Suelos y Agroquímica» del INICA^E.

Los métodos utilizados en cada determinación, así como las unidades en que se expresan, aparecen en el Cuadro I.

^ESánchez, M.E., Cuéllar, I., Arzola, N., Pérez, H., Menéndez, A., Rodríguez, F., Benítez, L., Cabrera, A., Lorenzo, M.A., Blanco, R., Madrigal, F., Gómez M. y Abella, E. Normas Metodológicas del Departamento de Suelos y Agroquímica. Parte II. Análisis Físicos y Químicos de Laboratorio. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, La Habana, 1989, 216 p.

Cuadro I. Métodos analíticos utilizados en la caracterización química de las áreas.

Determinación	Método	Unidad	Especificaciones
Materia orgánica	Walkley & Black (1934)	Porcentaje	Valoración
Densidad aparente	Método del cilindro	t m ⁻³	Kaurichev (1980) Digestión H ₂ SO ₄ y Se.
Nitrógeno total	Kjeldahl	Porcentaje	Destilación y valoración
P asimilable	Oniani	P ₂ O ₅ mg 100 g ⁻¹ suelo	Colorimetría

Al inicio de la investigación se realizó un muestreo de caracterización del área de cada ecosistema, cuyos resultados analíticos aparecen relacionados en el Cuadro II.

El cálculo de las reservas de C se realizó utilizando la fórmula:

$$RC = fC \cdot \rho \cdot Pm \cdot 100 \quad (1)$$

Dónde: RC es la reserva de C en t ha⁻¹; ρ es la densidad aparente del suelo en t m⁻³; fC es la fracción de C en porcentaje; Pm es la profundidad de muestreo en cm y 100 es el factor para expresar el resultado en toneladas por hectárea.

La «razón de estratificación de la materia orgánica» se calculó mediante la ecuación:

$$ReMOS = MOS_{sup} / MOS_{prof} \quad (2)$$

Dónde: ReMOS es la razón de estratificación de la materia orgánica entre los contenidos observados a las profundidades de 0 a 20 y 20 a 40 cm; MOS_{sup} es el contenido

de MOS cercano a la superficie o primer estrato de muestreo y MOS_{prof} es el contenido de materia orgánica del suelo en la profundidad de muestreo subsiguiente. Tanto MOS_{sup} como MOS_{prof} se midieron en porcentaje y ambas en la capa arable.

Tratamiento estadístico de los datos:

Al hacer un análisis exploratorio de datos y comprobar que su estudio incluyendo los dos ecosistemas no se ajustaba a una distribución normal, se procedió a hacerlo por separado, donde la población correspondiente a cada conjunto de datos resultó normal, al no diferir de la prueba Shapiro-Wilk W para cada una de las variables estudiadas. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de esta prueba practicada al C del ecosistema cañero en los primeros 20 cm de profundidad, que muestra que no hay diferencias significativas entre las categorías observadas y las estimadas. El procesamiento estadístico de los datos se realizó con la utilización del paquete estadístico Statistica v 6.1 y Microsoft Excel 2007.

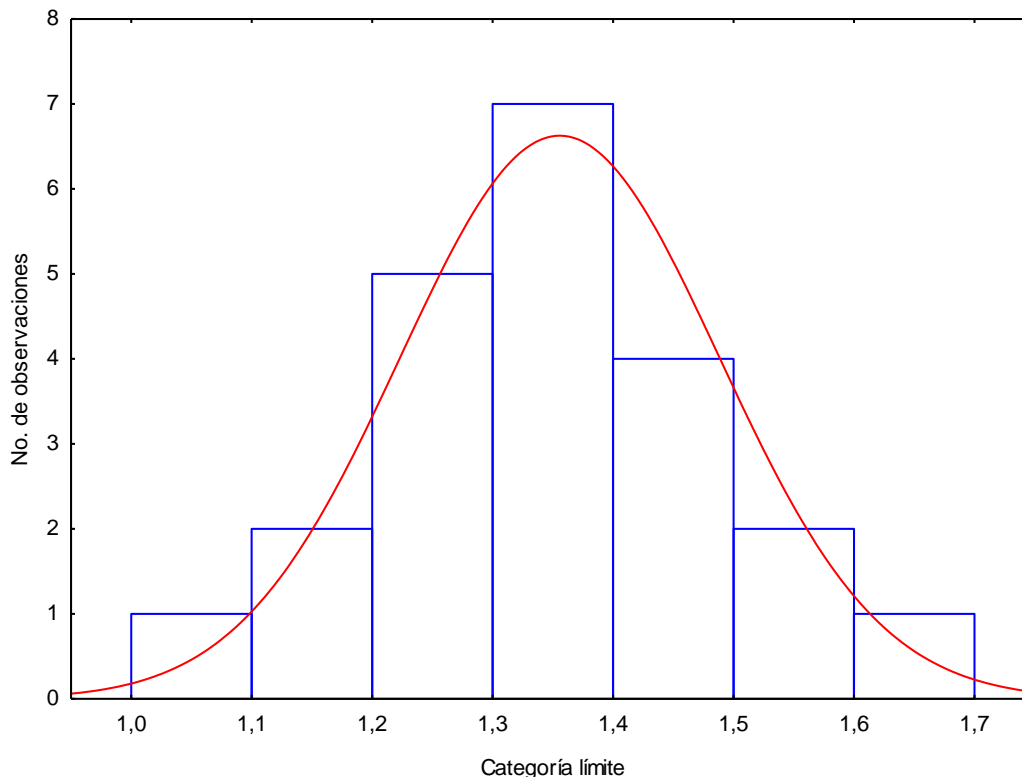


Figura 1. Histograma de frecuencias de los datos de C orgánico del suelo correspondientes al ecosistema cañero en los primeros 20 cm de profundidad (Shapiro-Wilk $W=0,98071$, $p=0,92673$). La probabilidad 0,92673 indica que no hay diferencias entre los valores observados y los estimados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Carbono orgánico del suelo: El suelo, como reservorio de C de la superficie terrestre, interactúa energicamente con la composición atmosférica, el clima y los diferentes usos de la tierra. La capacidad de predecir y mejorar las consecuencias de cambio global depende, en parte, del conocimiento de la distribución y control del C orgánico en el suelo y de cómo la vegetación puede afectarlo con la profundidad del suelo. Ambos ecosistemas, mostraron comportamientos diferentes en cuanto a la cantidad de C acumulado por profundidad. Así, los primeros 20 cm del suelo con bosque representaron 60,66% de todo el C del perfil y el suelo cultivado 51,13%, lo que indica que a

pesar de la tala indiscriminada, la cantidad de biomasa generada por el primero fue superior a la del suelo bajo cultivo (Figura 2). Se encontraron mayores variaciones de esta variable entre profundidades en el suelo con bosque que en el suelo con caña de azúcar, igualándose su contenido en la profundidad de 40 a 60 cm, lo que pudiera indicar que su existencia a esa profundidad no estuvo influida por el tipo de vegetación bajo las condiciones estudiadas.

La presencia de C en las capas subsuperficiales de los dos ecosistemas tuvieron estadísticamente igual comportamiento [$F(20, 168)=1,0797$; $p=0,37504$]. No obstante, se observó una disminución de la diferencia existente entre el C de los dos ecosistemas, en la medida en que avanzaba la profundidad del perfil, hasta llegar a desaparecer en la profundidad de 40 a

720

60 cm. En ambos estudios el C decreció con la profundidad (Figura 2).

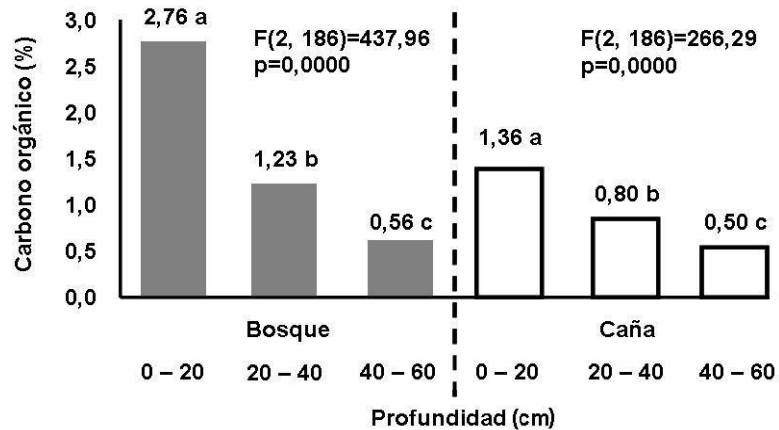


Figura 2. Resultado del análisis de varianza practicado por separado a los datos de COS de los ecosistemas bosque semialterado ($F(2, 186)=437,96$, $p=0,0000$) y caña de azúcar ($F(2, 186)=266,29$, $p=0,0000$) en las profundidades estudiadas de un suelo Vertic Haplustepts de Santiago de Cuba.

Reservas de carbono orgánico: Las reservas de C del suelo del ecosistema boscoso fueron superiores a las del ecosistema cañero, observándose diferencias significativas entre ambos [$F(20, 84)=6,1441M$; $p=0,00***$] en la capa arable (Figura 2). En su dinámica temporal, el suelo con bosque mostró una disminución progresiva de sus reservas de C a lo largo de los 21 años de estudio, perdiendo en ese periodo alrededor de la mitad de las reservas iniciales (Figura 3). Este comportamiento se ajustó a un modelo lineal. El C en los suelos forestales, por lo general, se encuentra en equilibrio, pero tan pronto ocurre la deforestación o reforestación, esa condición es afectada, lo que se corrobora en este trabajo, en la condición de ecosistema semialterado, como lo plantearon Orellana-

Rivadeneira y col. (2012). Tendencias similares fueron observadas en Nigeria (Lal, 1996) y Argentina (Cabacinha y Castro, 2009).

En el caso del ecosistema cañero, no se observaron variaciones en sus reservas de C durante los 21 años de estudio, manteniéndose en alrededor de 25 t de C en todo el periodo (Figura 3). A partir de la profundidad de 20 a 40 cm, no hubo variación del C en ninguno de los ecosistemas estudiados, por lo que no se muestra. Resultados similares fueron reportados en México (Geissen, 2009), al estudiar la influencia de diferentes usos de la tierra sobre esta variable, entre los que se encontraba el cultivo de la caña de azúcar.

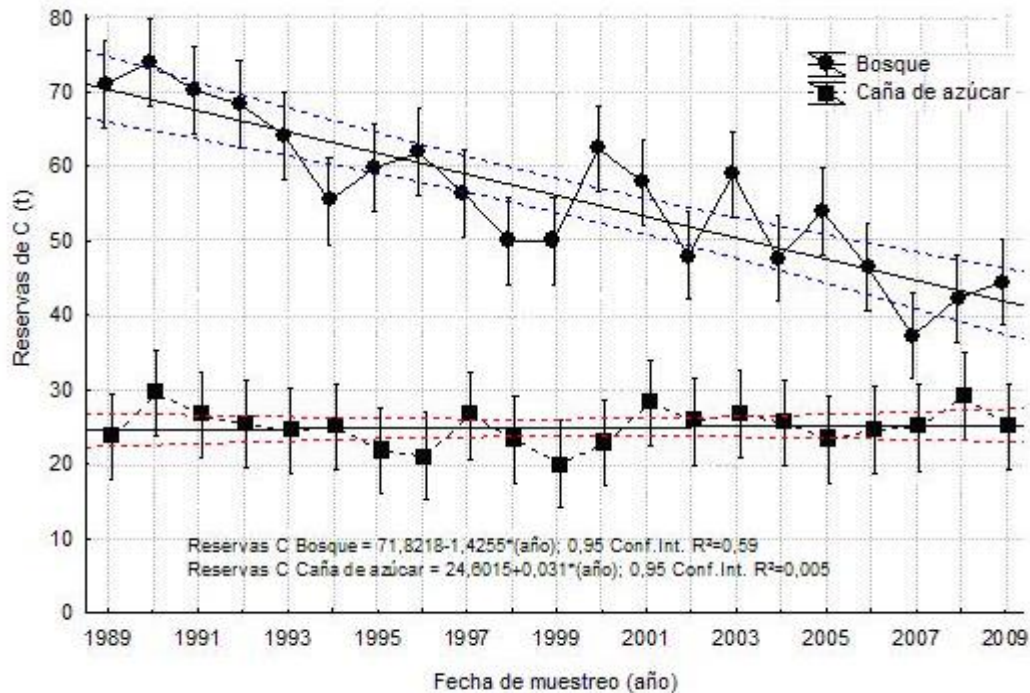


Figura 3. Variación de las reservas de C con el tiempo en los primeros 20 cm de un suelo Vertic Haplustepts plantado con caña establecida por más de 25 años y bosque por más de 70 años ($F(20, 84)=6,1441$, $p=,00000***$). Barras verticales denotan intervalos de confianza a 0.95. Las líneas discontinuas a ambos lados de la línea principal indica la desviación estándar de la media.

Carbono y fósforo asimilable: La relación observada entre el C y el P asimilable del suelo en los ecosistemas bosque semialterado y caña de azúcar se muestra la Figura 4. Se aprecia que en ambos casos existe relación lineal directa, con mejor ajuste en los valores correspondientes al ecosistema cañero ($R^2=0,87$). Los mayores valores de P asimilable en el suelo con caña de azúcar se fundamentan en el hecho de que este cultivo

recibe anualmente fertilización fosfórica, además de los residuos de cosecha verde que permanecen en el campo, que también representan un aporte de este elemento. Al respecto Hou y col. (2014), trabajando con ocho bosques subtropicales maduros, en China, encontraron una relación directa del C con el índice de sorción de fósforo, sugiriendo que la acumulación de C puede incrementar la disponibilidad de este nutriente en el suelo.

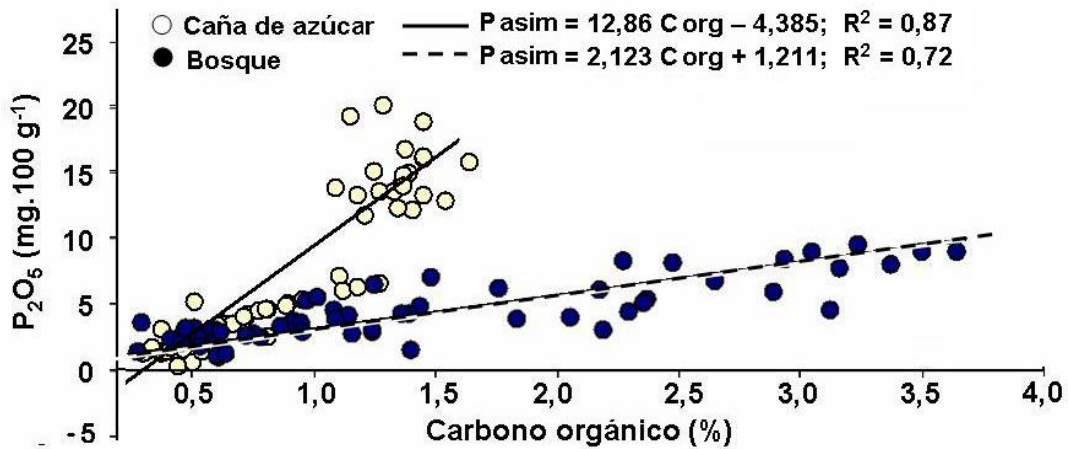


Figura 4. Relación entre el P asimilable y el C orgánico de un suelo Vertic Haplustepts plantado con caña de azúcar y bosque perteneciente a Santiago de Cuba.

El P asimilable en su dinámica temporal tuvo un comportamiento similar al presentado por el C y el N en ambos ecosistemas. En el ecosistema bosque, ambas variables se ajustaron a ecuaciones lineales con R² de 0,81 y 0,69, respectivamente, en la profundidad de 0-20 cm. Esto es perfectamente comprensible si se tiene en cuenta que el fósforo está sujeto a fenómenos de adsorción e intercambio aniónico en las superficies coloidales cargadas positivamente, como la materia orgánica, razón por la que

aumenta o disminuye en correspondencia con sus variaciones en la capa arable del suelo (Hou y col, 2014 (Figura 5)). La similitud en las tendencias lineales negativas de estos tres elementos con el decurso del tiempo en el ecosistema boscoso, muestra su interdependencia en el suelo. Cuando la materia orgánica por alguna razón, es afectada, el desbalance ocurrido se reflejará en todos aquellos elementos que forman parte de su estructura, como son el N, el P y el C (Figura 5).

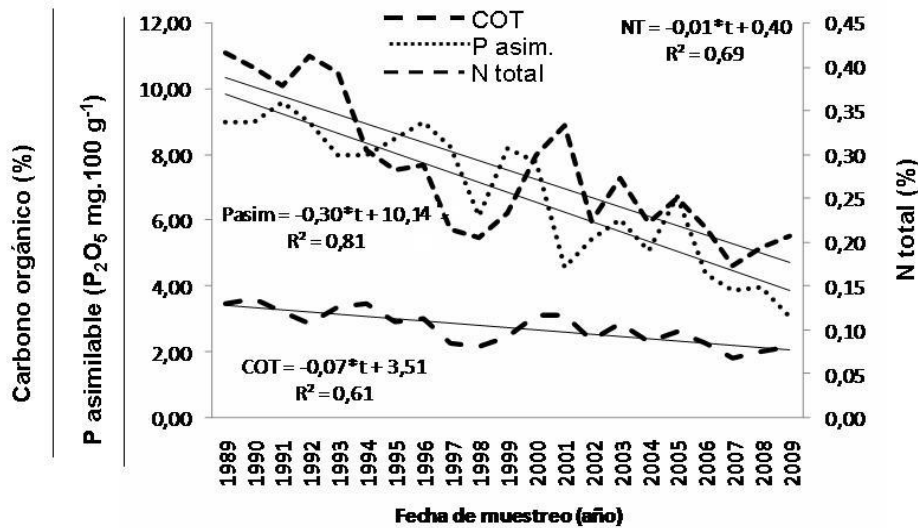


Figura 5. Comportamiento del carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT) y fósforo asimilable (P asim.) en el transcurso del tiempo (t) en la capa arable del suelo plantado con bosque perteneciente a Santiago de Cuba.

Relación de estratificación (ReMOS):

La calidad del suelo es un concepto que comprende la premisa de que el manejo puede deteriorar, estabilizar o mejorar las funciones del ecosistema suelo. El grado de estratificación de las existencias de C y N con la profundidad del perfil, pudiera indicar la calidad del suelo o el funcionamiento del ecosistema, porque la MOS de la superficie es esencial para el control de la erosión, la infiltración de agua y la conservación de nutrientes (Franzlubbers y col., 2002). Las relaciones de estratificación permiten comparar en la misma escala de evaluación una amplia diversidad de suelos, debido a un procedimiento de normalización interna que tiene en cuenta las diferencias inherentes a los mismos (Franzluebbers, 2001).

Teniendo en cuenta las premisas enunciadas, se consideró determinar la relación que existe entre el contenido de C de la capa arable y la subsiguiente (ReMOS), con el objetivo de evaluar cuan fértil podía resultar el suelo. En este sentido se determinó la razón de estratificación (Melero y col., 2012), de acuerdo con la ecuación 1. Según este autor, una relación de estratificación por encima de 2 significa alta funcionalidad del ecosistema. En este estudio ambos ecosistemas mostraron valores de estratificación por encima de dos, siendo mayor para suelo con bosque (3,82) que para aquel con caña de azúcar (2,91), lo que concuerda con investigaciones desarrolladas por el referido autor, que trabajando con suelos Ustochrept, Eutrocryept, Cryoboralf y Natriboralf, encontró que los menos perturbados tenían una mayor ReMOS, comparados con los mismos suelos manejados agrónomicamente. Esta relación experimentó una disminución al final del periodo estudiado en el ecosistema boscoso;

por el contrario, en el suelo con caña de azúcar la tendencia fue a aumentar ligeramente.

CONCLUSIONES

1. El C en la capa arable del suelo con bosque, experimentó disminución en la medida en que avanzó el tiempo a lo largo de los 21 años estudiados, mientras que, el suelo plantado con caña de azúcar no mostró variación en igual periodo.
2. El C de la capa arable del suelo en el ecosistema con bosque fue superior al del ecosistema con caña de azúcar, no obstante, a la profundidad subsiguiente no se observaron diferencias entre los valores de los dos usos de la tierra, por lo que en este estudio, no se detecta influencia del tipo de cultivo sobre el C a profundidades mayores que 40 cm. En ambos casos hubo decrecimiento del C con la profundidad.
3. El P asimilable experimentó un comportamiento similar al del C y el N en la capa arable del suelo con bosque, ajustándose en cada caso a regresiones lineales inversas en el tiempo, mostrando la dependencia de estos elementos del contenido de MOS.
4. La ReMOS resultó ser superior en el suelo con bosque que en el suelo con caña de azúcar, sin embargo, ambos valores se encuentran dentro del rango reportado por la literatura para un suelo de buena calidad productiva.
5. La fertilidad química del suelo con caña de azúcar no sufrió cambios en

21 años de estudio, la ReMOS experimentó un aumento no significativo en el tiempo, mientras que en el suelo con bosque, producto de intervención antropogénica, ocurrió un decrecimiento gradual en todo el periodo de estudio, lo que influyó negativamente en la ReMOS.

AGRADECIMIENTOS

A los Doctores: M. E. de León Ortiz, R. Villegas Delgado, F. J. Arcia Porrúa, E. y a los MSc. E. García Licea y Libia Bouzo Almeida, por su colaboración en la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Barančíkova, G., Halás, J., Gutteková, M., Makovníková, J., Nováková, M., Skalský, R. y Tarasovičová, Z. 2010. Application of RothC Model to Predict Soil Organic Carbon Stock on Agricultural Soils of Slovakia. *Soil&Water Res.*, v. 5, No. 1 p 1–9.
- Briedis, C., de Moraes Sa, J. C., Caires, E. F., Navarro, J. D. F., Inagaki, T. M., Boer, A., Neto, C. Q., Ferreira, A.d.O., Canalli, L. B., dos Santos, J. B., 2012. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. *Geoderma* v 170. p 80–88.
- Cabacinha, C. D., de Castro, S. S. 2009. Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, No. 257. p 2157–2165.
- Cabrera A. y Zuaznábar, R. 2010. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. *Cultivos Tropicales*, vol. 31, No. 1. p. 5-13.
- Carvajal, A. F. 2008. Relación del carbono y nitrógeno del suelo con usos y coberturas del terreno en Alcalá, Valle del Cauca. [Tesis presentada en opción al título de Maestro en Ciencias], Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Ciencias Ambientales. Maestría en Ecotecnología, Pereira, 104 p.
- Cerri, C. C., Bernoux, M., Ferreira Maia, S. M., Pellegrino Cerri, C. E., Costa Junior, C., Feigl, B.J., Frazao, L. A., de Castro Mello, F. F., Galdos, M. V., Moreira, C. S., Nunes Carvalho, J. L. 2010. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. *Scientia Agricola*, No. 67. p 102–116.
- Digonzelli, P., Romero, E. R., Alonso, L., Fernández de Ullivarri, J., Rojas Quinteros, H., Scandalariis, J. y Fajre S. 2011. Assessing a sustainable sugarcane production system in Tucumán, Argentina. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*. Tomo 88 No.1 p 1-12. ISSN 0370-5404.
- Fahey, T., Yavitt, J., Sherman, R., Groffman, P., Fisk, M., Maerz, J. 2011. Transport of carbon and nitrogen between litter and soil organic matter in a northern hardwood forest. *Ecosystems*, No. 14, p 326-340.

- Franzlubbers, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. 2002. *Soil Till. Res.*, No. 66. p 197-205.
- Franzlubbers, A. J. 2001. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research* 66 (2002) 95–106.
- Galdós, M. V., Cerri, C. C, Cerri, C. E. P., Paustian, K., Van Antwerpen, R. 2009. Simulation of soil carbon dynamics P under sugarcane with the CENTURY model,. *Soil Sci Soc Amer J.* No.73. p 802-811.
- Galdós, M. V., Cerri, C. C., Cerri, C. E. P., Paustian, K., Van Antwerpen. R. 2010. Simulation of sugar cane residue decomposition and above ground growth. *Plant Soil*, No. 326 p 243–259.
- Geissen, V. 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils. An example from Southeast Mexico, *Geoderma* doi:10.1016/j.geoderma.03.011.
- Gifford, R. M. 1994. The global carbon cycle: A viewpoint on the missing sink. *Aust. J. Plant Physiol*, No. 21. p 1-15.
- Hernández, M. E. y López, D. 1995. Respiración edáfica y aportes de materia orgánica por las raíces y hojarasca en un cultivo de caña de azúcar. *Agronomía Tropical*, v. 45 No.1. p 121-141.
- Hou Enqing, Chen Chengrong, Wen Dazhi, Liu Xian, 2014. Relationships of phosphorus fractions to organic carbon content in surface soils in mature subtropical forests, Dinghushan, China. *Soil Research* 52, 55–63.
- Kaurichev, I. S. *Prácticas de Edafología*. Mir Publishers, Moscow.
- Lal, R. 1996. Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. III. Soil erosion and nutrient loss. *Land Degradation & Development*,. Vol. 7. p 87 – 98.
- Melero, S., López-Bellido, R. J., López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., Moreno, F., Murillo, J. M., Franzluebbers, A. J. 2012. Stratification ratios in a rainfed Mediterranean Vertisol in wheat under different tillage, rotation and N fertilization rates. *Soil and Tillage Research*, V. 119.. 7–12.
- Moraes Sá, J. C., Tivet, F, Lal, R., Briedis, C., Hartman, D. C., Dos Santos J. Z. y Dos Santos, J. B. 2014. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research*, No. 136, p 38–50.
- Neto, M. S., Scopel, E., Corbeels, Cardoso, M., Douzet, A. N., Feller, J. M., Piccolo, C., Cerri, C.C., Bernoux, M. 2010. Soil carbon stocks under no-tillage mulch based cropping systems in the Brazilian Cerrado: an on-farm synchronic assessment. *Soil & Tillage Research*, v.110, No. 1. p 187–195.
- Ogle, S. M.; Breidt, F. J.; Paustian, K. 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of

- temperate and tropical regions. *Biogeochemistry*, v. 72. p. 87-121.
- Orellana-Rivadeneira, Sandoval-Solís, M. L., Linares-Fleites, G., García-Calderón, N. y Tamariz-Flores, J. V. 2012. Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. *ACI*, v. 3, No. 1. p 123-135.
- Piva, J. T., Dieckow, J., Bayer, C., Zanatta, J. A., de Moraes, A., Pauletti, V., Tomazi, M., Pergher, M. 2012. No-till reduces global warming potential in a subtropical Ferralsol. *Plant and Soil*, No. 361. p 359–373.
- Ponce-Hernandez, R. 2004. Assessing carbon stocks and modeling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p 166.
- Rodrigo B. L., Lambin, E. F. The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon. 2009. *Applied Geography*. No. 29. p 171–181.
- Urquiaga, S., Rodrigues Alves, B. J. Pozzi, J. C. y Boddey, R. M. 2012. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. *Viçosa Rev. Bras. Ciênc. Solo*, vol. 36, No. 5. p 13-21.