

RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE LA LLANURA FLUVIAL CALCETA-TOSAGUA, MANABÍ, ECUADOR

Organic carbon reserves in soil from the fluvial plain Calceta-Tosagua, Manabí, Ecuador

**Freddy W. Mesías Gallo¹✉, Alberto Hernández Jiménez²,
Leonardo R. Vera Macías¹, Ángel M. Guzmán Cedeño¹⁻³,
Ángel F. Cedeño Sacón¹, Katty P. Ormaza Cedeño¹
y Geoconda A. López Alava¹**

ABSTRACT. The Soil Organic Carbon (SOC) is one of the most important issue nowadays in Soil Science from two points of view. One of them is the reserves of SOC in soils in relation with climate change and the other is in relation with other soil properties because its conditions dependent of SOC content, to have high SOC content that improve other soil properties as volume density, porosity, biological activity and others. In Manabí, Ecuador there are few and disperse results about this thematic, practically there are no results in the northern coast part of the province. So that, in soil investigations that are making in the Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM), in the last five years, in the Carrizal-Chone System. In this region there are four Referential Soil Groups, Feozems (Mollisols), Fluvisols (Fluvents), Cambisols (Inceptisols) and Gleysols (Aquents). The nature soil formation in this region is Feozem and Fluvisols, the Cambisols are formed by degradation from the Feozems because its cultivation during many years. The Feozems has the higher content of SOC reserves, 52 mg ha⁻¹, in the 0-30 cm layer of the upper part of soil profile. Fluvisols, Cambisols and Gleysols have a medium content (32-36 mg ha⁻¹) of SOC reserves. There are also in this paper some recommendations to continue this studies in the region. That permit management technology in agricultural production that improves soils and keed good yields.

RESUMEN. El carbono orgánico en los suelos (COS) constituye hoy día uno de los problemas de actualidad en la Edafología. Su estudio se analiza desde dos puntos de vista; uno como parte de los problemas del cambio climático y las posibilidades de captura y secuestro de carbono en los suelos; y el otro, en relación con la conservación de un contenido de carbono para mantener buenas propiedades del suelo que mantengan una producción agrícola adecuada. En Manabí, Ecuador, estos estudios se realizaron esporádicamente, con muy pocos resultados. En el caso de la región costera norte prácticamente no hay resultados al respecto. Por esto, en los estudios edafológicos que viene realizando la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM) en los últimos cinco años, se profundiza en esta temática, dentro de las investigaciones realizadas para los suelos del Sistema Carrizal-Chone. Entre los resultados se tiene, que en esta región, los Grupos Referenciales de Suelos son Feozem (Mollisol), Fluvisol (Fluvent), Cambisol (Inceptisol) y Gleysol (Aquent). La formación natural de los suelos en esta región es de Feozems y Fluvisoles. Los Cambisoles se han formado por degradación de los Feozem cámbico. Los suelos Feozem son los que acumulan mayor cantidad de carbono orgánico, con 52 mg ha⁻¹, para la capa de 0-30 cm del espesor superior del perfil; mientras que los Fluvisoles, Cambisoles y Gleysoles tienen un contenido mediano (32-36 mg ha⁻¹). Se hacen una serie de recomendaciones para investigaciones futuras que permitan lograr tecnologías de manejo en la producción agrícola que mejoren los suelos y mantenga buenos rendimientos.

Key words: soil degradation, alluvial plain, feozem, fluvisol, cambisol

Palabras clave: degradación del suelo, llanura aluvial, feozem, fluvisol, cambisol

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM MFL), Campus Politécnico "El Limón", km 2,7, vía Calceta-Morro-El Limón, Sector "La Pastora", Manabí, Ecuador

² Instituto Nacional de Ciencias Agrícola (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Posta 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700

³ Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, vía San Mateo, km 1½, Ecuador

✉ fmesias@espam.edu.ec

INTRODUCCIÓN

El estudio del carbono orgánico en los suelos (COS) se viene realizando en numerosos países en los últimos años. En general se plantea que la importancia del carbono en los suelos tiene relación con la mitigación del cambio climático (1). En relación con las pérdidas de carbono en los suelos de los ecosistemas. Sin embargo, plantean (2) que las mismas son importantes, no solamente en relación con las emisiones de CO₂ y el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, sino además con la productividad de los suelos.

El cambio de uso del suelo resulta importante para el contenido de COS, sobre todo en los suelos bajo cultivo continuado y en aquellas regiones donde se ha llevado a cabo conversión de bosques a regiones de cultivo. La mayoría de los suelos bajo cultivo continuado, a nivel mundial, han tenido una reducción en las reservas de carbono orgánico entre 25 y 75 % (1). Desde la época de los años 90, hasta los momentos actuales, en muchos países se realizan estudios sobre el estado del contenido de carbono en los suelos, los impactos en otras propiedades de los suelos, las causas de su disminución y la búsqueda de medidas para mejorar esa degradación del suelo.

En Cuba, se ha encontrado que los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de las llanuras de Cuba (Nitisoles líxicos, ródicos, arcillosos), bajo cultivo intensivo han perdido como promedio entre 50 y 55 % de las reservas de carbono, en la capa de 0-20 cm del espesor superior del suelo, en relación con el bosque (3-5). Al mismo tiempo se demuestra en este trabajo cómo las pérdidas de carbono empeoran las propiedades del suelo, como la densidad de volumen, factor de dispersión, actividad micorrízica, estabilidad estructural, límite superior de la humedad productiva.

Se ha prestado atención además, a la dependencia del contenido del carbono en los suelos de los factores de formación, principalmente con el clima y la cantidad de lluvia, teniendo en cuenta diferentes escenarios se demostró que la cantidad de lluvia resulta determinante para las reservas y distribución en profundidad del COS (6,7).

Por otra parte, en los últimos tiempos se obtienen resultados sobre el cambio del contenido de COS, según las coberturas que presentan comparando, resultados obtenidos en diferentes espacios de tiempo. De esta forma, se obtuvieron la ganancia o pérdida de COS en la Cuenca del Río Mololoa, Nayarit, México (8).

En otras investigaciones realizadas (9), se estudió los efectos del cambio de uso de los suelos forestales, en las reservas de carbono naturales del Mediterráneo (9). En Dakota del Sur, Estados Unidos (10), como resultado en sus investigaciones obtuvo que la diferencia en el contenido de carbono orgánico

del suelo entre praderas (pastizales) y tierras agrícolas presentan una disminución de 18 % en las tierras cultivadas.

También se ha visto la relación entre la disminución del carbono orgánico del suelo y la producción de glomalina. La glomalina es un producto de la actividad de los hongos micorrízicos arbusculares y muy importante para la formación de una buena estructura en los suelos. En investigaciones realizadas en Cuba, se demuestra que en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ferrálicos líxicos), degradados por el cultivo, hay una disminución significativa en la disminución de la glomalina (4). De la misma forma se determina la afectación de la glomalina en relación con la disminución del carbono orgánico del suelo y su afectación en otras propiedades edafológicas (11).

Debido a este problema de la degradación del suelo por las pérdidas de carbono orgánico, ya se comienzan a obtener resultados sobre la mejora del contenido de carbono orgánico en el suelo, con diferentes prácticas de manejo. Por ejemplo, en Cuba, teniendo en cuenta la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados por el cultivo continuado, se obtuvieron resultados en el mejoramiento de la variante degradada de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados por el cultivo continuado (12), que incluso presenta un piso de arado. En tres años de experimentación, con aplicación de 1 y 2 mg ha⁻¹ de estiércol vacuno, se obtuvo un incremento de 0,2 mg ha⁻¹ de reservas de COS, en este suelo, con un incremento en el rendimiento de maíz (*Zea mays*) (de 5 y 7 mg ha⁻¹ con relación a 2,25 mg ha⁻¹ en el testigo). También, en el Condado de Fuyang, al Este de China, algunos autores determinaron, en suelos de áreas de agricultura urbana, incrementos en el contenido de Carbono orgánico del suelo entre 1,73 % en 1979 1,85 % en 2006; debido a que se aplicaron abonos orgánicos en la producción de vegetales y flores (13).

En Turquía, en la región semiárida, con la reforestación a base de pino negro y de cedro en 2 420 000 ha; se obtuvo un aumento en las reservas de carbono orgánico (para las capas de 0-10 y 10-20 cm en 18,20 mg ha⁻¹ y 16,33 mg ha⁻¹ y 23,54 mg ha⁻¹ y 12,38 mg ha⁻¹, respectivamente (14).

Como se demuestra, se presta gran atención al contenido del COS, desde diferentes aspectos, tanto en relación con las emisiones de GEI a la atmósfera y su impacto en el Cambio Climático, como con el cambio de uso del suelo y las pérdidas de carbono en los ecosistemas y en los últimos años la determinación cuantitativa en el tiempo, del contenido de carbono en los ecosistemas según su uso, ya sea por el cultivo continuado como por el cambio de tierras agrícolas a vegetación secundaria.

En la provincia de Manabí, Ecuador, son escasos los estudios en relación con los contenidos de COS, sobre todo en la región costera norte, donde la agricultura tiene un peso muy grande. En los últimos años se han obtenido algunos resultados en este sentido, sobre las características de los suelos, las reservas de carbono y sus impactos en sus propiedades, en la Parroquia Membrillo, del Cantón Bolívar, en relieve ondulado alomado premontañoso (15,16).

El objetivo de este trabajo consistió en realizar un inventario, sobre la base de un mapa de suelos de las reservas de carbono orgánico en los suelos de las llanuras del sistema Carrizal-Chone, en la parte costera norte de la provincia de Manabí, donde abundan los cultivos como cacao (*Teobroma cacao*), plátano (*Musa paradisiaca*), maíz (*Zea mays*), calabaza (*Cucurbita pepo*) y arroz (*Oryza sativa*) principalmente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron 117 perfiles de suelos, en un área de 7500 ha, que comprende las ciudades de Calceta y Tosagua y pueblos como La Estancilla y Bachillero. Estos perfiles fueron descritos y clasificados por el sistema de clasificación del World Reference Base (17). Los perfiles estudiados por GRS son los siguientes: Feozems, 35 perfiles; Fluvisoles, 53 perfiles; Cambisoles 25 perfiles; Gleysoles cuatro perfiles.

De cada perfil de suelo se tomó una muestra por horizonte, a las cuales se les hizo diferentes determinaciones analíticas para su caracterización. Para la determinación de las reservas de COS se hicieron los siguientes análisis:

- ♦ Determinación de materia orgánica por el método de Walkley & Black
- ♦ Determinación de densidad de volumen por el método de cilindros en campo, utilizando cilindros de 100 cc de volumen
- ♦ Estimación de las reservas de carbono orgánico del suelo (RCOS), se determinan por la fórmula propuesta

$$RCOS = \text{porcentaje de C} \times Dv \times \text{espesor del horizonte en cm} \times (1-l)$$

donde:

El porcentaje de C, se determinó dividiendo el porcentaje de MO, entre un factor (1,724)

Dv: es la densidad de volumen en Mg m⁻³

l: es el porciento de inclusiones (gravas, piedras, nódulos ferruginosos), expresado en relación con la unidad. No se aplica en este trabajo, ya que no existen inclusiones en el área estudiada

Se realizó un mapa de suelos de las RCOS, para la capa de 0-30 cm, mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica ARGIS 10 (Foto 1).

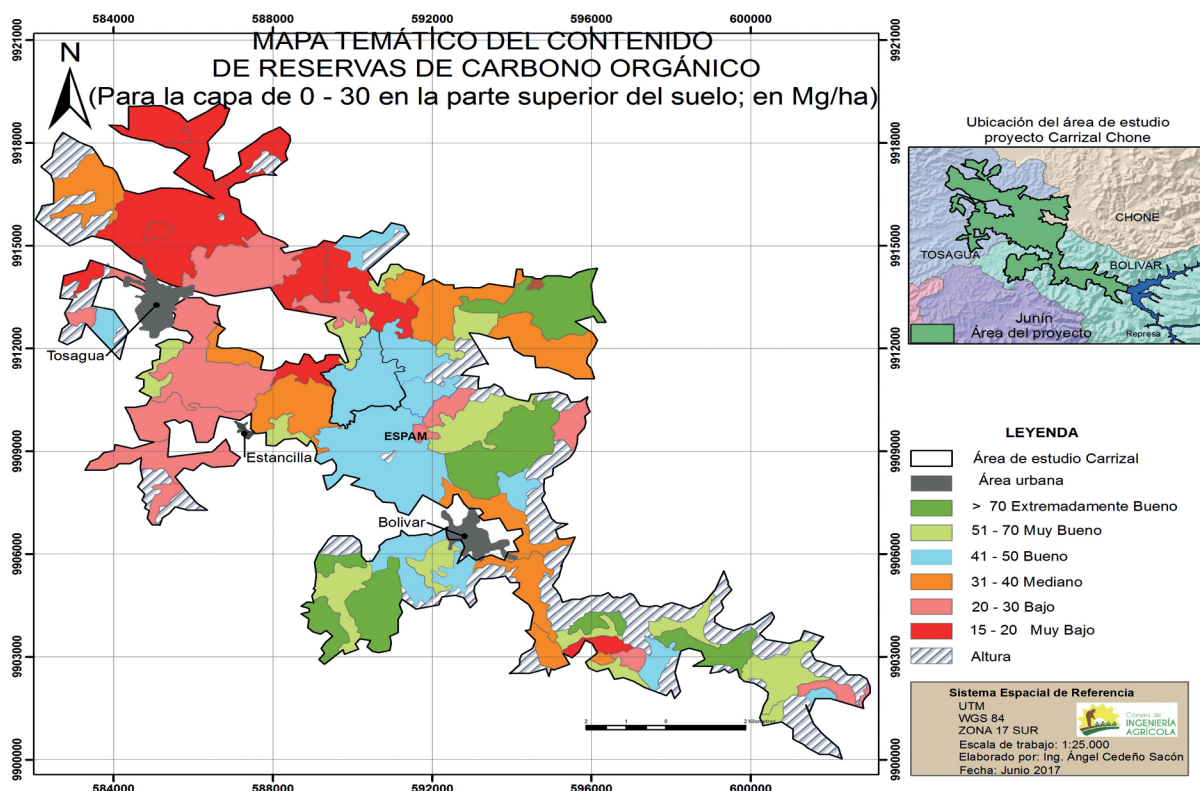


Foto 1. Mapa temático del contenido de reservas de carbono orgánico

Las categorías para clasificar los contenidos en RCOS fueron generados por Vera (18) (Tabla I). Estas categorías se hicieron por cálculo, para la capa de 0-30 cm, según los contenidos en materia orgánica (19).

Tabla I. Categorías del contenido de RCOS en los suelos (para la capa de 0-30 cm)

Contenido en reserva de Carbono (mg ha ⁻¹)	Categoría
Extremadamente alto	> 70
Muy alto	51-70
Alto	41-50
Mediano	31-40
Bajo	20-30
Muy bajo	< 20

Además, se crearon los resultados por Grupo Referencial y Unidad de Suelo, los cuales se determinaron en la capa de 0-30, 0-50 y 0-100 cm del espesor superior del perfil.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Grupos Referenciales de Suelos que se identificaron en la región son Feozems, Fluvisoles, Cambisoles y Gleysoles, los cuales presentan diferentes calificativos que se expresan en el mapa de suelos.

Los resultados obtenidos en el mapa por categoría de RCOS se presentan en la Tabla II. Estos resultados evidenciaron las pérdidas de RCOS que tuvieron estos suelos, ya que los contenidos de bajo y muy bajo alcanzan casi el 40 % si le agregamos el de mediano, alcanzan alrededor del 55 %.

En la región la agricultura que se lleva a cabo es intensiva, continuada y sin tener en cuenta alguna forma de manejo de los suelos para conservar o mejorar sus propiedades. Se hace necesario la implementación de medidas de manejo adecuado de los suelos podría incrementar las reservas de carbono en ellos y el mejoramiento de sus propiedades.

La explotación de los suelos de las áreas menos lluviosas con el cultivo del algodón conllevó al empobrecimiento de los suelos y la formación de estructura con bloques grandes en la capa superficial. Actualmente es donde se siembra arroz y maíz; continuar con prácticas intensivas de estos cultivos van a empobrecer estos suelos.

El cultivo del arroz es el que mayor degradación provoca en las propiedades del suelo (20,21); así, la influencia hidromórfica y el fangueo, como el cambio de las condiciones de oxidación-reducción del suelo conllevan a la destrucción rápida de los agregados estructurales del suelo, con la formación de horizontes en forma de bloques con manchas de reducción del hierro y manganeso. Debido a esta formación antropogénica provocada por el cultivo del arroz, en la clasificación de suelos del WRB, se incluyen horizontes de diagnóstico que se utiliza para clasificar estos suelos. Esto también ha sido adoptado en la Clasificación de Suelos de Cuba (22).

Por lo expuesto anteriormente, para la provincia de Manabí en general y para la región de estudio en particular, es necesario comenzar a estudiar el contenido y comportamiento del carbono en los suelos y al mismo tiempo, introducir medidas de aplicación de abonos verdes, biofertilizantes, compost y abonos orgánicos, lo que podría favorecer el aumento del carbono en los suelos, así como el desarrollo de un sistema de raíces que aportarían un buen contenido de materia orgánica al suelo.

En la cuantificación de las RCOS por diferentes capas para los suelos por los Grupos Referenciales de Suelos, se observó que los suelos Feozem son los mejores en cuanto al contenido de RCO (Tabla III), lo que influye en otras propiedades (color, estructura, consistencia, fertilidad) y da lugar a que en estos suelos se presente un horizonte mólico en superficie, con un espesor superior a los 18 cm de espesor, que los caracteriza como GRS.

Es notable que los Fluvisoles en la diferencia entre las capas de 0-30 cm y 0-50 cm, los valores de RCO,

Tabla II. Superficie que tiene cada categoría de las RCOS en el área estudiada

Contenido en reserva de carbono (mg ha ⁻¹)	Categoría	Superficie por categoría en ha de los contenidos de RCOS	% del total
> 70	Extremadamente Alto	1097,6	15,2
51-70	Muy Alto	835,9	11,5
41-50	Alto	1393,4	19,3
31-40	Mediano	1214,3	16,8
20-30	Bajo	1384,2	19,1
< 20	Muy bajo	1308,3	18,1
Total		7233,7	100,0

Tabla III. Reservas de carbono orgánico del suelo (RCOS) en los grupos referenciales de suelos

GRS	Área (ha)	Profundidad A+B (cm)	pH (H ₂ O)	RCO (mg ha ⁻¹)		
				0-30	0-50	0-100
Feozem	2107	57	6,32	52	70	99
Fluvisol	3788	43	6,91	32	42	114
Cambisol	1037	37	7,35	34	47	94
Gleysol	301	35	7,26	36	59	Nd

Nd: no determinado

sea tan estrecha, lo cual es debido a lentes o capas de arena de 30-40 cm que se presentan en estos suelos entre los primeros 50 cm de la parte superior del perfil. Es conocido que las texturas arenosas captan muy poco carbono en el suelo (23). Sin embargo, para la diferencia entre 50-100 cm en estos suelos es muy alto el contenido en RCO, lo cual es debido a la presencia de horizontes A antiguo, enterrado en estos Fluvisoles.

Los Cambisoles, como era de esperar, tienen un contenido mediano de RCO para la capa de 0-30 cm, lo cual es debido a que ellos se forman por la transformación de los Feozems Cámbicos, por el cultivo continuado, con pérdidas de materia orgánica y carbono y pasan a ser Cambisoles.

Hacia la zona de La Estancilla-Tosagua-Bachillero, donde predominan los Cambisoles, las RCO son más bajas, lo que demuestra que en los suelos de esta parte del ecosistema son relativamente más altas, lo que se relaciona con el cultivo continuado a que han estado sometidos los suelos, sobre todo en cultivos como el algodón, el arroz y el maíz y las características propias de los suelos. En su mayoría son suelos de textura franca, franco arenoso y franco limoso, de composición sialítica, con predominio de minerales arcillosos del tipo 2:1, y poco contenido en hierro libre, lo cual favorece estas pérdidas, mediante la mineralización rápida de la materia orgánica por el cultivo y su emisión a la atmósfera. Esta problemática del cambio de suelo por influencia antropogénica, debido al cultivo continuado, se ha informado en otras investigaciones (6,9,24).

En un estudio se expone algunos efectos en el cambio en las propiedades del suelo por la influencia antropogénica, donde algunos son poco significativos, y otros llevan al suelo hasta el cambio de su posición taxonómica o destruyen completamente el perfil, entre los cambios que propone se encuentra el cambio del nivel taxonómico del suelo (25). Igualmente, para la llanura costera norte de Nayarit, México, se demostró que suelos Feozems pasan a Cambisoles por el cultivo continuado e intensivo (26).

Resulta notable, además que en estos suelos, bajo clima tropical, no hay un contenido muy alto en RCO para las capas de 0-100 cm; como se obtuvo en otro estudio (27), en Malaysia y para la región de Membrillo, en Ecuador (16), que se encuentra en las partes altas de la región de estudio, con la presencia de suelos Feozem hiperhúmicos (bajo bosque primario o secundario) que tienen más de 200 Mg ha⁻¹ de RCO para la capa de 0-100 cm. Esto es debido a varias causas; en primer lugar, son suelos jóvenes, formados de sedimentos aluviales recientes, que aunque están en regiones tropicales no acumulan grandes cantidades de RCOS. Por otra parte, son suelos con influencia aluvial, con capas de arena en la parte superior y media del perfil (28), lo que interrumpe la ganancia de carbono por el suelo en forma sistemática y estable y finalmente que los perfiles fueron tomados en áreas de cultivo o pastizales por lo que las RCOS resultan con menor contenido que cuando están bajo bosques.

En este estudio, se obtuvo que los Feozems no tienen unidad de suelo con calificativo ócrico, lo cual es debido a que, con el cultivo continuado, ellos pierden materia orgánica, reduciendo el contenido de carbono y pasan a Cambisoles, en el caso de los Feozems con horizonte B cámbico. Las RCOS en cada Grupos Referenciales de Suelos en esta investigación, mostró que, los Feozems no tienen unidad de suelo con calificativo ócrico (Tabla IV), lo cual es debido a que, con el cultivo continuado, ellos pierden materia orgánica, reduciendo el contenido de carbono y pasan a Cambisoles, en el caso de los Feozems con horizonte B cámbico.

En las Unidades de Suelo de los Fluvisoles, las diferencias en las RCO son más reducidas para las capas de 0-30 y 0-50 cm y también en algunas de las Unidades de los Cambisoles, que como se explicó anteriormente, es debido a la presencia de capas de arena en el perfil del suelo. En el caso de los Fluvisoles estas capas de arena pueden presentarse en el espesor superior, entre 0-50 cm y en los Cambisoles pueden estar por debajo en profundidad en el perfil. Por esto tanto Feozems como Cambisoles tienen el calificativo flúvico, pues presenta cambios en el tamaño de las partículas por el perfil.

Tabla IV. Reservas de carbono orgánico de las unidades de suelos

GRS	Unidad de suelo	Profundidad A+B (cm)	pH (H ₂ O)	RCOS (mg ha ⁻¹)		
				0-30	0-50	0-100
Feozems (35 perfiles)	Feozem flúvico	48	6,62	50	70	99
	Feozem flúvico cámbico	68	6,47	52	77	114
	Feozem flúvico gléyico	69	6,72	56	67	111
Fluvisoles (53 perfiles)	Fluvisol éutrico	48	6,63	41	51	75
	Fluvisol éutrico, ócrico	37	7,34	17	25	52
	Fluvisol éutrico y protovértico	42	7,44	31	43	76
	Fluvisol gléyico y éutrico	36	6,79	25	45	64
	Fluvisol gleýico, éutrico y ócrico	35	6,82	12	24	71
	Fluvisol gléyico, éutrico y protovértico	34	7,95	36	49	72
Cambisoles (25 perfiles)	Cambisol flúvico éutrico	68	7,31	44	59	141
	Cambisol flúvico éutrico ócrico	62	7,48	21	29	47
	Cambisol flúvico vértico y éutrico	98	7,65	32	56	88
	Cambisol flúvico, vértico, éutrico y ócrico	77	7,53	19	31	62
	Cambisol flúvico, gleýico y éutrico	65	6,77	29	32	51
	Cambisol flúvico, gleýico, vértico éutrico y ócrico	64	6,6	18	32	67
	Cambisol flúvico, estágnico, vértico y éutrico	84	7,77	26	51	99
Gleysoles (4 perfiles)	Gleysol flúvico éutrico	35	7,26	36	59	Nd

Nd: no determinado

Es notable que en los Cambisoles se presenten los valores superiores de pH, lo que puede relacionarse con los aportes de materiales redepositados de la formación geológica Onzole, que predomina en las alturas que rodean la llanura en el tramo de La Estancilla hacia Tosagua. La formación Onzole es una formación terrígena sedimentaria, con presencia de lutitas, las que pueden ser un aporte de sodio a los suelos en esta parte de la llanura, donde predominan los Cambisoles.

CONCLUSIONES

- ◆ Los suelos de la región estudiada por la influencia del cultivo continuado, han perdido alrededor del 50 % de las reservas de carbono orgánico en el suelo, para la capa de 0-30 cm del espesor superior del perfil. Dentro de esto, se evidencia que los Feozems son los que mantienen un contenido alto en las reservas de carbono orgánico del suelo, le siguen los Fluvisoles y resultan los Cambisoles, los que tienen menor contenido en las reservas de carbono orgánico del suelo.
- ◆ Los Cambisoles se forman a partir de los Feozems, debido a las pérdidas de COS por el cultivo continuado en estos suelos.

- ◆ En los Grupos Referenciales de Suelos que se presentan en la región es notable la presencia de capas de arena en los primeros 50 cm del perfil de los Fluvisoles, por lo que las reservas de COS se mantienen baja en la capa de 0-50 cm del perfil.
- ◆ Dentro de los Grupos Referenciales de Suelos, los Cambisoles son los que tienen el pH mayor, con valor promedio mayor de 7,0; mientras que en los Fluvisoles y Feozems se mantiene entre 6 y 7.

RECOMENDACIONES

- Para lograr una política para la captura y secuestro de carbono en la región y al mismo tiempo se mantenga un incremento sostenible de las RCOS, en las áreas de producción agrícola, se hace necesario:
1. Determinar las ganancias o pérdidas de carbono por año, según el manejo de los suelos (arboledas, plantaciones, cultivos).
 2. Lograr tecnologías de manejo de los suelos en la producción agropecuaria que no conlleve a las pérdidas de carbono en el suelo.
 3. Hacer un balance del manejo de los suelos del Sistema Carrizal-Chone para mantener una captura de carbono en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Lal R, Follett RF, Stewart BA, Kimble JM. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science*. 2007;172(12):943–56. doi:10.1097/ss.0b013e31815cc498
- Cerri C, Bernoux M. Effect of forest conversion on the carbon budget the case of pasture installation in the Amazonian rainforest. In: Abstracts Symposium 34. XVI Congress of Soil Science. In Montpellier, France; 1998. p. 631.
- Hernández A, Cabrera A, Borges Y, Vargas D, Bernal A, Morales M, et al. Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*. 2013;34(3):45–51.
- Hernández A, Morales M, Borges Y, Vargas D, Cabrera JA, Ascanio MO, et al. Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "Llanura Roja de La Habana", por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2014. 156 p.
- Hernández A, Vargas D, Bojórquez JI, García JD, Madueño A, Morales M. Carbon losses and soil property changes in ferralic Nitisols from Cuba under different coverages. *Scientia Agricola*. 2017;74(4):311–6. doi:10.1590/1678-992x-2016-0117
- González L, Acosta M, Carrillo F, Báez A, González JM. Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2014;5(7):1275–85.
- Mora JL, Guerra JA, Armas-Herrera CM, Arbelo CD, Rodríguez-Rodríguez A. Storage and depth distribution of organic carbon in volcanic soils as affected by environmental and pedological factors. *CATENA*. 2014;123:163–75. doi:10.1016/j.catena.2014.08.004
- Bojórquez JI, Pacheco LA, Hernández A, García JD, Madueño A. Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(4):63–9.
- Fernández ML, Lozano B, Parras L. Topography and land use change effects on the soil organic carbon stock of forest soils in Mediterranean natural areas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014;195:1–9. doi:10.1016/j.agee.2014.05.015
- Olson KR, Gennadiyev AN, Kovach RG, Schumacher TE. Comparison of Prairie and Eroded Agricultural Lands on Soil Organic Carbon Retention (South Dakota). *Open Journal of Soil Science*. 2014;04(4):136–50. doi:10.4236/ojss.2014.44017
- Singh AK, Rai A, Singh N. Effect of long term land use systems on fractions of glomalin and soil organic carbon in the Indo-Gangetic plain. *Geoderma*. 2016;277:41–50. doi:10.1016/j.geoderma.2016.05.004
- Morales M, Hernández A, Rodríguez J, Guevara C, González M, Álvarez M, et al. Prácticas de manejo para el mejoramiento de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados degradados. *Agrotecnia de Cuba*. 2013;37(1):79–86.
- Qiu L, Zhu J, Zhu Y, Hong Y, Wang K, Deng J. Land use changes induced soil organic carbon variations in agricultural soils of Fuyang County, China. *Journal of Soils and Sediments*. 2013;13(6):981–8. doi:10.1007/s11368-013-0684-4
- Korkanç SY. Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. *Catena*. 2014;123:62–9. doi:10.1016/j.catena.2014.07.009
- Hernández A, Vera L, Naveda CA, Monserrate Á, Vivar M, Zambrano TR, et al. Tipos de suelos y sus características de las partes medias y bajas de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Revista ESPAMCIENCIA*. 2012;3(3):87–97.
- Hernández A, Vera L, Basurto N, Alfredo C, Cedeño G, Monserrate Á, et al. Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(1):50–6.
- FAO and IUSS. World reference base for soil resources 2014 [Internet]. Rome: FAO; 2015 [cited 2018 Apr 4]. 203 p. (Reports No. 106.). Available from: www.fao.org/3/i3794en/I3794EN.pdf
- Vera L, Hernández A, Mesías F, Guzman A, Cedeño Á. Manual para la cartografía de suelos y la descripción de perfiles de suelos. (Adaptado a las características de los suelos de la parte central norte de la Costa de Manabí). 1st ed. Calceta, Ecuador: Editorial Humus, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López; 2017. 70 p.
- Hernández A, Paneque J, Pérez JM, Mesa A, Bosch D, Fuentes E. Metodología para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos. Cuba: Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura de Cuba; 1995. 43 p.
- Guerasimova M, Stroganova M, Mosharova N, Prokofieva T. Suelos Antropogénicos, Génesis, Geografía, Recultivación. Manual de Estudio (en ruso). Bajo la redacción del Académico G.V. Dobrovolskii. Smolensk, Oikumena; 2003. 268 p.
- Hernández A, Moreno I. Características y clasificación de los suelos cultivados de arroz en La Palma, Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*. 2010;31(2):00–00.
- Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 93 p.
- Matus FJ, Maire G. CR. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*. 2000;60(2):112–26. doi:10.4067/S0365-28072000000200003
- López R, Burgos P, Hermoso JM, Hormaza JI, González-Fernández JJ. Long term changes in soil properties and enzyme activities after almond shell mulching in avocado organic production. *Soil and Tillage Research*. 2014;143:155–63. doi:10.1016/j.still.2014.06.004
- Dudal R. The sixth factor of soil formation. *Eurasian Soil Science C/C of Pochvovedenie*. 2005;38:S60.
- Hernández A, Serrano JB, Planes FM, Rodríguez AC, García MOA, Paredes JDG, et al. Fundamentos de la estructura de suelos tropicales. México: Universidad Autónoma de Nayarit; 2010. 80 p.
- Padmanabhan E, Eswaran H, Reich PF. Soil carbon stocks in Sarawak, Malaysia. *Science of The Total Environment*. 2013;465:196–204. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.03.024
- Vera L. Estudio de los suelos y su fertilidad como base para el manejo sostenible del Campus de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador [Tesis de Maestría]. [Mayabeque, Cuba]: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2013. 67 p.

Recibido: 29 de noviembre de 2017

Aceptado: 12 de Julio de 2018